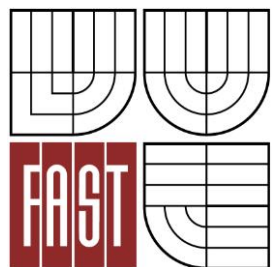




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

VYHODNOCOVÁNÍ DOPRAVNÍHO HLUKU

EVALUATION OF TRAFFIC NOISE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN MEJZLÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. JAN KUDRNA, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Martin Mejzlík
Název	Vyhodnocování dopravního hluku
Vedoucí diplomové práce	prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2013
Datum odevzdání diplomové práce	17. 1. 2014
V Brně dne 31. 3. 2013	

.....
doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Soubor norem ČSN EN 11819 Měření hluku

Dostupná literatura

Data z měření metodou CPX a SPB

Zásady pro vypracování

Cílem je provedení měření a vyhodnocení emisí valivého hluku způsobeného vozidly na různých úpravách povrchů vozovek. Požadovanými výstupy jsou vyhodnocené přínosy různých vyvíjených protihlukových úprav povrchů a jejich vzájemné porovnání.

Předepsané přílohy

.....
prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou dopravního hluku, jeho měřením a vyhodnocováním. Teoretická část se soustřeďuje jednak na základní informace o akustice, ale také popisuje a analyzuje zdroje hluku na styku pneumatika/vozovka. Dále se zabývá protihlukovými kryty a metodami pro měření dopravního hluku. Praktická část obsahuje popisy, výsledky a zhodnocení realizovaných měření hluku metodami CPX a SPB.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dopravní hluk, hladina hluku, hlukové emise, protihlukový kryt, mikrofon, měření hluku

ABSTRACT

This thesis deals with issue of traffic noise, its measurement and data evaluation. Theoretic part of my work concretes basic information about acoustics and also describes and analyzes traffic noise sources of tire/pavement. Next part deals with quite pavement and with measurement methods of traffic noise. Practical part of my thesis contains description, results and evaluation of realized measurement with methods CPX and SPB.

KEYWORDS

Traffic noise, sound pressure, noise emission, quite pavement, microphone, measurement of noise

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Martin Mejzlík *Vyhodnocování dopravního hluku*. Brno, 2014. 86 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Martin Mejzlík

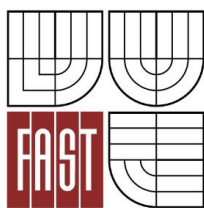
PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15.1.2014

.....
podpis autora
Bc. Martin Mejzlík



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

POPISNÝ SOUBOR ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.

Autor práce Bc. Martin Mejzlík

Škola Vysoké učení technické v Brně

Fakulta Stavební

Ústav Ústav pozemních komunikací

Studijní obor 3607T009 Konstrukce a dopravní stavby

Studijní program N3607 Stavební inženýrství

Název práce Vyhodnocování dopravního hluku

Název práce v anglickém jazyce Evaluation of Traffic Noise

Typ práce Diplomová práce

Přidělovaný titul Ing.

Jazyk práce Čeština

Datový formát elektronické verze

Anotace práce Diplomová práce se zabývá problematikou dopravního hluku, jeho měřením a vyhodnocováním. Teoretická část se soustřeďuje jednak na základní informace o akustice, ale také popisuje a analyzuje zdroje hluku na styku pneumatika/vozovka. Dále se zabývá protihlukovými kryty a metodami pro měření dopravního hluku. Praktická část obsahuje popisy, výsledky a zhodnocení realizovaných měření hluku metodami CPX a SPB.

Anotace práce v anglickém jazyce This thesis deals with issue of traffic noise, its measurement and data evaluation. Theoretic part of my work concretes basic information about acoustics and also describes and analyzes traffic noise sources of tire/pavement. Next part deals with quite pavement and with measurement methods of traffic noise. Practical part of my thesis contains description, results and evaluation of realized measurement with methods CPX and SPB.

Klíčová slova Dopravní hluk, hladina hluku, hlukové emise, protihlukový kryt, mikrofon, měření hluku

Klíčová slova v anglickém jazyce Traffic noise, sound pressure, noise emission, quite pavement, microphone, measurement of noise

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat prof. Ing. Janu Kudrnovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a za ochotu věnovat mi čas při konzultacích v průběhu zpracovávání diplomové práce, dále kolegům Ing. Petrovi Kozákovi a Bc. Adamovi Černochovi za pomoc při realizaci měření a svým rodičům za celoživotní podporu při studiu.

OBSAH

1. ÚVOD	12
2. CÍL PRÁCE.....	13
3. AKUSTIKA A HLUK	14
3.1 Hluk jako faktor životního prostředí.....	14
3.2 Účinky hluku na člověka	14
3.3 Základní veličiny akustiky	15
3.3.1 Hladina akustického tlaku (SPL).....	15
3.3.2 Ekvivalentní hladina akustického tlaku	15
3.4 Mezní hodnoty hluku	16
3.5 Akustická emise a akustická imise	18
4. HLUK Z DOPRAVY	19
4.1 Zdroje hluku.....	20
4.1.1 Primární zdroje hluku	20
4.1.1.1 Adheze (Stick-snap).....	20
4.1.1.2 Náraz dezénového bloku (Tread impact).....	21
4.1.1.3 Sání vzduchu (Air pumping).....	22
4.1.1.4 Tření mezi povrchem a pneumatikou (Slip-stick)	22
4.1.2 Sekundární zdroje hluku (zesilující mechanismy).....	23
4.1.2.1 Helmholtzovy rezonátory	23
4.1.2.2 Efekt trubky (Horn effect)	23
4.1.2.3 Vibrace kostry pneumatiky	24
4.1.2.4 Vnitřní akustická rezonance.....	24
4.2 Shrnutí zdrojů hluku	25
4.3 Lze hluk z dopravy snížit?	25
4.3.1 Urbanisticko-architektonická protihluková opatření	25
4.3.2 Urbanisticko-dopravní protihluková opatření	26
4.3.3 Dopravně-organizační protihluková opatření	26
4.3.4 Stavebně-technická protihluková opatření	27
4.4 Strategické hlukové mapy a akční plány	29
4.4.1 Strategická hluková mapa.....	29
4.4.2 Akční plány	29
5. PRINCIPY PROTIHLUKOVÝCH KRYTŮ VOZOVEK.....	31

5.1	Netuhé vozovky	32
5.1.1	Porézní kryty (PA).....	32
5.1.2	Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM).....	34
5.1.3	Asfaltové koberce mastixové (SMA)	35
5.1.4	Koberce s asfaltovým pojívem modifikovaným pryžovým granulátem	35
5.2	Tuhé vozovky	37
5.2.1	Vymývaný beton	37
5.2.2	Cementobetonové kryty upravené vlečenou jutou	38
6.	METODY MĚŘENÍ HLUKU Z DOPRAVY	39
6.1	Metoda SPB (Statistical Pass-by)	39
6.2	Metoda CPB (Controlled Pass-by)	40
6.2.1	Metoda CB (Coast-by)	41
6.3	Metoda CPX (Close Proximity Methods).....	41
6.4	Metoda CPI (Close Proximity Sound Intensity)	43
6.5	Laboratorní měření	44
6.6	Hodnocení měření hygienických limitů hluku.....	44
6.7	Nejistoty měření.....	45
7.	REALIZOVANÁ MĚŘENÍ DOPRAVNÍ HLUČNOSTI.....	47
7.1	Měření metodou CPX	47
7.1.1	Metodika měření.....	47
7.1.2	Měření hlučnosti cementobetonových vozovek	49
7.1.3	Měření hlučnosti vodorovného značení.....	58
7.2	Měření metodou SPB.....	61
7.2.1	Měření povrchů, ul. Hradecká	61
7.3	Měření pro posouzení hygienických limitů	71
7.3.1	Městská komunikace Zlín.....	71
7.3.2	Navržená protihluková opatření	77
8.	ZÁVĚR.....	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK	83
	SEZNAM GRAFŮ	85
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	86

1. ÚVOD

Problematika dopravního a speciálně automobilového hluku se v poslední době stává stále více citlivou záležitostí v podvědomí obyvatelstva. Různé studie evropských komisí prokázaly, že až 40% obyvatelstva na kontinentu, je zasaženo zdraví škodlivými hodnotami hluku. Tato skutečnost tak naznačuje, že hluk je jeden z nejzávažnějších problémů životního prostředí v Evropě. Podle údajů Světové zdravotnické organizace způsobuje vysoký hluk velký počet zdravotních problémů a tak např. ztráta sluchu může být označena za jednu z nejrozšířenější nemoc s nevratnými následky. Je tedy nutné se touto problematikou vážně zabývat a hledat možná řešení co se týče snížení emisí hluku, jelikož nynější společnost přirozenou cestou usiluje o neustálé vylepšování kvality života. S nárůstem objemu dopravy souvisí zvýšení hlukových emisí, a proto by se na tento problém mělo myslet při projektování nových komunikací, rekonstrukcích stávajících tras, ale i např. při plánování nových obytných celků či obytných zón.

Pozemní komunikace jsou považovány za liniový zdroj hluku a je třeba jej redukovat. Ne všechny problémy totiž může vyřešit stavba finančně náročného obchvatu či protihlukové stěny. V rámci finančních možností je proto třeba hledat schůdná řešení tohoto problému, která budou proveditelná a ekologicky přijatelná. Při analýze zdrojů dopravního hluku tak přichází pod drobnohled samotný automobil. V posledních letech dosáhly automobilky značných pokroků, co se týče karoserie auta (aerodynamický hluk) a hluku motoru. Podobně jsou na tom pneumatiky, které také prošly znatelným vývojem. Výrobci testují nejrozličnější typy směsí a hlavně typy dezénů. Při určitém uspořádání drážek dezénu totiž lze dosáhnout nižší hladiny hlučnosti. Zcela rozdílným přístupem ke snižování hluku, je možnost použití protihlukových krytů. [1]

2. CÍL PRÁCE

Téma „Vyhodnocování dopravní hlučnosti“ jsem si vybral proto, že bych rád pokračoval tématu, které jsem zpracovával v rámci práce bakalářské a taky proto, že problém hluku považuji opravdu za závažný z hlediska znečištění životního prostředí a rád bych pronikl do oblasti protihlukových opatření, měření a vyhodnocování hluku či prevence před hlukem.

Cílem práce je provedení měření a vyhodnocení emisí valivého hluku metodami CPX a SPB způsobeného vozidly na různých úpravách povrchů vozovek. Požadovanými výstupy jsou vyhodnocené přínosy různých vyvíjených protihlukových úprav povrchů a jejich vzájemné porovnání. Druhým cílem je posoudit rušnou ulici ve Zlíně z hlediska hygienických limitů dle stávajícího zákona.

Práce je rozdělena do pěti základních částí. První část se zabývá akustikou a zvukem všeobecně. Popisuje měřené veličiny hlučnosti a jejich jednotky. V této části je také popsán důležitý rozdíl mezi akustickou emisí a imisí. Další část práce popisuje hluk z dopravy. Jsou zde analyzovány a popsány zdroje hluku na rozhraní pneumatika/vozovka, které jsou rozděleny na primární a sekundární. Částečně jsou zde naznačeny i možnosti snižování hluku, jejich základní rozdělení a vlastnosti. Ve třetí části jsou rozebrány základní principy tuhých a netuhých protihlukových krytů. V další části práce jsou popsány metody měření hluku, které se používají pro vyhodnocování hlučnosti a to jak z hlediska popisu akustických vlastností krytů, tak i z hlediska vyhodnocování hygienických limitů. Pátou a nejdůležitější částí je zpracování realizovaných měření dopravního hluku.

3. AKUSTIKA A HLUK

3.1 Hluk jako faktor životního prostředí

Hluk se v moderní době stal přirozeným projevem nejrůznějších přírodních jevů a aktivity člověka. Jako hluk by se dle ČSN 01 1600 (Akustika, Názvy definice) označuje „jakýkoli zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem nebo má škodlivý účinek.“ Vyvolává nepříjemné až rušivé pocity a může být velice nebezpečný. Je potřeba uvést, že vnímání hluku je subjektivní a jeho účinky tak záleží na vnímání každého jednotlivce. V současné době produkuje hluk spousta činitelů. Patří mezi ně, kromě dopravy, také průmysl či zábava, ale také faktory nezávislé na člověku – proudění vody, proudění vzduchu či nejrůznější projevy fauny či flory. [1][2]

3.2 Účinky hluku na člověka

Základním určujícím účinkem hluku je jeho intenzita. Jednotkou hlučnosti je decibel [dB]. Decibel je fyzikálně bezrozměrná míra, obdobně jako třeba procento, ovšem na rozdíl od něj je decibel logaritmická jednotka, jejíž definice souvisí s objevením Fechner-Weberova zákona, který říká, že lidské tělo vnímá podněty logaritmicky k jejich intenzitě (zvýšení hladiny hlučnosti o 10 dB odpovídá 10x větší hlučnosti). Hodnoty hluku kolem 20 dB jsou považovány za hluboké ticho, které ovšem může dráždit stejně jako hluk nadměrný. Hladinu 30 dB lidé hodnotí jako příjemné ticho, do hodnoty cca 65 dB se tato oblast označuje jako „oblast psychického působení“. Tato oblast není bezprostředně škodlivá, ale závisí na individuální vnímavosti. Oblast 65-90 dB se nazývá „oblast vegetativních funkcí“. Při delší expozici se člověk stává nervóznější, zužují se cévy a zvyšuje se činnost srdce. Hodnoty mezi 90-120 dB se nazývají oblastí „poškození sluchu“ kdy se poškozuji sluchové buňky a může dojít k ohluchnutí. Intenzity nad 120 dB jsou považovány za smrtelně nebezpečné. Nebezpečnost hluku spočívá v tom, že lidský organismus se v podstatě nemá jak proti působení akustických tlaků jak bránit. Hluk působí destruktivně také na nejrůznější materiály. [4]

Příklad zvuku	Hladiny intenzity zvuku
Zahrada, les, zimní hory	20-30 dB
Tichá kancelář	40 dB
Běžný hovor	50 dB
Středně hlučná ulice	60-70 dB
Auta, motocykly	80 dB
Hlučná křižovatka, křik	90 dB
Výrobní provoz	120 dB
Startující letadlo	130 dB

Tab. 1: Příklady intenzit hlučnosti ve společnosti [4]

3.3 Základní veličiny akustiky

Zvuk je z hlediska fyziky definován jako mechanické, podélné vlnění, které člověk vnímá v rozmezí frekvencí 20 až 20 000 Hz. Nižší frekvence než 16 Hz označujeme jako infrazvuk, vyšší jak 20 kHz jako ultrazvuk. Zvuk se šíří jak vzduchem, tak i pevným či kapalným prostředím, tudíž potřebuje určité látkové prostředí, proto se zvuk nešíří vakuem. Lidský sluch vnímá nejen hlasitost zvuku, ale také jeho výšku a barvu (frekvence). Hluk o vyšších frekvencích působí škodlivěji než zvuky s frekvencemi nižšími. Vysoké tóny vnímá člověk intenzivněji (zdají se hlasitější) než tóny nižších frekvencí. Dvě základní veličiny pro popis hlučnosti jsou „Hladina akustického tlaku [L_{pA}]“ a „Ekvivalentní hladina akustického tlaku [L_{eq}]“. [1][4]

3.3.1 Hladina akustického tlaku (SPL)

Jedná se o základní veličinu pro popis hlučnosti v prostředí, v angličtině „Sound Pressure Level“. Vyjadřuje nám, logaritmický poměr mezi vyvolaným akustickým tlakem „ p “ a referenčním tlakem vzduchu „ p_0 “. Z definice vyplývá, že se jedná se o okamžitou hodnotu hlučnosti. Jednotkou je decibel [dB]. Hladina má logaritmický průběh a tudíž každé zvýšení hladiny akustického tlaku je vnímáno velmi citlivě. Např. zvýšení hluku o 3 dB, znamená zdvojnásobení hlučnosti.

$$L_{pA} = 10 \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2} \right)$$

p měřený akustický tlak

p_0 referenční tlak (pro vzduch $y_{ref} = 20 \times 10^{-5}$ Pa)

3.3.2 Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Druhou veličinou sloužící k popisu hlučnosti slouží „Ekvivalentní hladina akustického tlaku“. Jedná se o hladinu akustického tlaku (SPL) vztaženou k určitému časovému intervalu „ T “. Tato veličina se používá často pro posuzování hlučnosti z hlediska hygienických limitů hluku, kdy čas „ T “ je 8 hodin (noc) nebo 16 hodin (den).

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} 10^{L_A(t)/10} dt \right]$$

$T=T_2-T_1$ časový interval v sekundách

L_A hladina akustického tlaku v časovém intervalu t_i

$$L_{eq} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^N t_i 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^N t_i}$$

N počet měření hladin akustického tlaku

t_i časový interval, ve kterém konkrétní L_{eq} působí

L_{Amax} [dB] - maximální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval

L_{Amin} [dB] - minimální hodnota hladiny akustického tlaku za sledovaný časový interval

L_{AE} [dB] - hladina expozice (vztažená k časovému interval 8h)

$L_{A_{sel}}$ [dB] - hladina akustického tlaku vztažená k časovému intervalu 1s [1][2][20]

3.4 Mezní hodnoty hluku

Hluk má významný vliv na zdraví a psychickou pohodu člověka. Ochrana lidského zdraví před hlukem je zakotvena v zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. Hluk všeobecně způsobuje rozdílné reakce na své okolí a to v závislosti na denní době, kdy se v průběhu mění jeho intenzita. Limity pro hluk z dopravy jsou podrobně stanoveny v nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Přesné hygienické limity jsou pro venkovní hluk 45 dB pro noční dobu (22:00-6:00) a 55 dB pro dobu denní (6:00-22:00). Je potřeba zdůraznit, že tyto limity lze považovat za mez přijatelného rizika, nikoli za bezpečný práh. Jsou určitým kompromisem a jejich překročení automaticky neznamená akutní poškození zdraví. Pro vnitřní hluk platí snížení limitu o 10 dB, tedy 35 dB v noci a 45 dB ve dne. Ani hlukové limity však za určitých okolností nemusí být dodržovány. Výjimka je popsána v § 31 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, podle kterého může hygienická stanice udělit časově omezené povolení překročení hygienických limitů, a to v případě, že:

- limity nelze dodržet z vážných důvodů
- původce hluku prokáže, že hluk bude omezen na rozumně dosažitelnou míru

Rozumně dosažitelnou mírou se rozumí poměr mezi náklady na protihluková opatření a jejich přínosem ke snížení hlukové nebo vibrační zátěže fyzických osob. Tato míra se stanovuje i s

ohledem na počet fyzických osob vystaveným nadlimitnímu hluku. Jinými slovy – ochranu lidského zdraví před hlukem je ochoten stát zajišťovat jen při rozumných finančních nákladech. Někdy však skutečně existují vážné důvody, ze kterých je přijatelné hlukové limity krátkodobě překračovat (např. stavební práce, které nelze provést jinak), v praxi ale neurčitá formulace v zákoně vede k častému povolování výjimek a to zejména u hluku ze silniční dopravy. Tyto výjimky platí obvykle pět až deset let a většinou jsou dále prodlužovány. Vlastník silnice slibuje snížení hluku například stavbou nových silnic a tedy odvedením dopravy do jiných míst. Až na výjimky v praxi tento postup nefunguje nikde na světě. [5]

Stará hluková zátěž

Starou hlukovou zátěží se rozumí stav hlučnosti způsobený silniční a železniční dopravou, který nastal před koncem roku 2000. Speciální limit pro starou hlukovou zátěž byl stanoven proto, aby se především v okolí hlavních silnic dosáhlo snadného splnění limitu bez nutnosti zásadních stavebních úprav a nákladných investic. Pomineme-li, že i vysoký limit 70 dB je u mnoha silnic trvale překračován, jedná se o hazardní hru se zdravím obyvatel. [5]

venkovní hluk	den (6:00-22:00)	noc (22:00-6:00)
základní limit – pro hluk jiný, než z dopravy	50 dB	40 dB
pro hluk ze silniční dopravy	55 dB	45 dB
pro hluk z železniční dopravy	55 dB	50 dB
pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
pro hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
pro starou hlukovou zátěž	70 dB	60 dB
pro starou hlukovou zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB

Tab. 2: Hygienické limity pro venkovní hluk [5]

vnitřní hluk	den (6:00-22:00)	noc (22:00-6:00)
základní limit	40 dB	30 dB
pro hluk ze silniční dopravy (neplatí pro stavby dokončené po 1.6.2006, u nich se použije základní limit)	45 dB	35 dB
pro hluk z hudby, zpěvu a řeči	35 dB	25 dB

Tab. 3: Hygienické limity pro vnitřní hluk [5]

3.5 Akustická emise a akustická imise

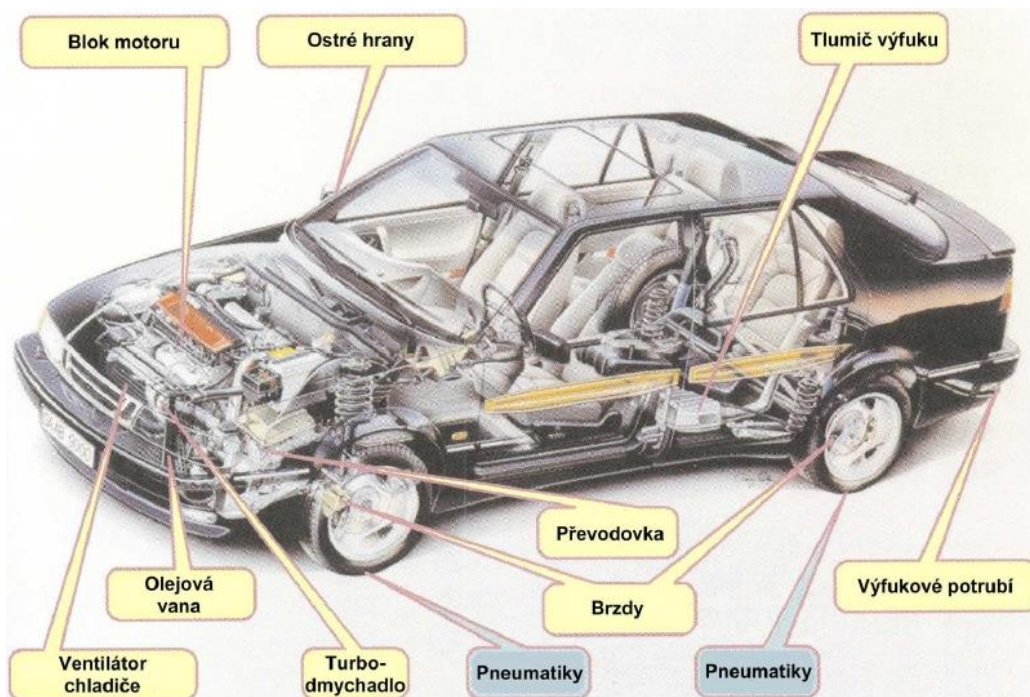
Podstatou pro rozlišování emisí a imisí je vazba, kterou má generovaný hluk ke zdroji, jež ho vyvolává, či vazba hluku k místu jeho příjmu. Akustickou emisí se rozumí každý nežádoucí zvuk (hladina akustického tlaku), kterou určitý zdroj emituje do okolí. Pokud nás zajímá akustická energie v místě jejího příjmu příjemcem, jedná se o hlukové imise. Příkladem soustavy, která generuje emise je pneumatika odvalující se po vozovce, zatímco typickým příkladem příjmu hlukových imisí je člověk pohybující se v okolí vozovky. Imise tedy vzniká jako následek emisí. Je tak zřejmé, že hlukové emise jsou zcela nezávislé na kvalitách okolního prostředí. V případě imisí je to však zcela naopak. Velikost akustických imisí v určitém bodě závisí jednak na hlukových emisích a také na způsobu šíření akustické energie od místa vzniku k příjemci.

Snižování hladiny hluku je v prostředí tedy možné buď ovlivňováním emisí, nebo imisí, přičemž při každém posouzení je nutno zvážit všechny klady a zápory. Typickým příkladem snižování akustických emisí jsou např. nízkošlukové pneumatiky. Příkladem snižování akustických imisí může být protihluková stěna či protihlukové okno. Zajímavým prvkem jsou protihlukové kryty, jelikož ty mohou snižovat jak akustické emise, tak imise. Asfaltový koberec drenážní, jelikož hluk není odražen, nýbrž pohlcen krytem snižuje imise. Na druhou stranu např. vymývaný beton svou strukturou neprodukuje takové množství hlukových emisí. V současnosti je největším zdrojem hlukových emisí doprava. [4][14]

4. HLUK Z DOPRAVY

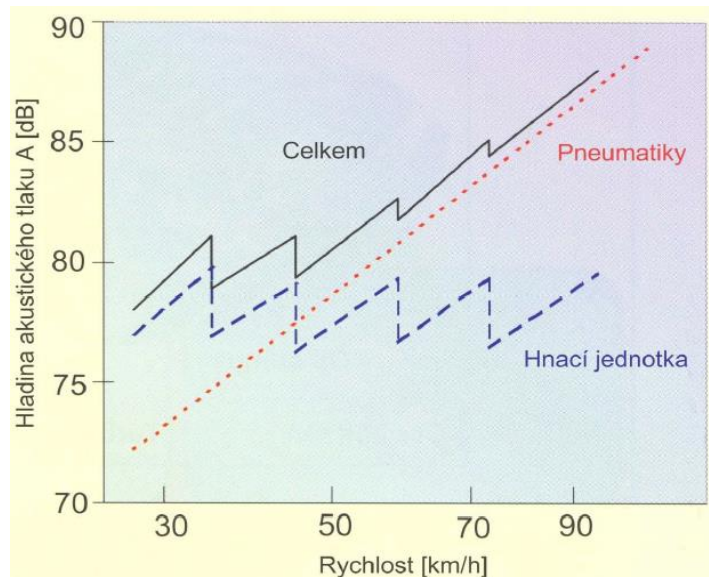
Hluk z dopravy je široký pojem, proto se nadále dělí na hluk z leteckého provozu, kolejový hluk a hluk automobilový. Nás samozřejmě nejvíce zajímá hluk automobilový. Ten se nadále dělí na vnitřní a vnější. Vnitřní hluk lze charakterizovat tak, že jej vytváří nejčastěji motor dopravního prostředku a obtěžuje pouze posádku vozidla. Nejsou na něj kladeny žádné zvláštní požadavky a tak by měl splňovat zejména nezbytnosti spojené s komfortem jízdy a nerušenou komunikací osob. Vnější hluk by měl ovšem splňovat důležitější kritéria, neboť obtěžuje okolí pozemních komunikací (sídliště, domy v městské zástavbě apod.). Vnější hluk tak podléhá přísnějším nárokům danými hygienickými předpisy a normovými podklady, které stanovují maximální hodnoty hladiny akustického tlaku L_{Aeq} (viz. Tab. 2).

Hlavními zdroji hluku v automobilové dopravě jsou pneumatiky, motor vozidla a obtékání vzduchu kolem vozidla. Ke tvorbě hluku však také přispívá karoserie, brzdy, převodovka či výfuková soustava. Jak už bylo řečeno, velkého pokroku se dosáhlo při snižování hlučnosti hnací jednotky, karoserie vozidla a pneumatik. Ty díky lepšímu uspořádání drážek dezénu mají menší valivý odpor a s tím je spojeno snížení produkce hluku pneumatik a jízda je nesrovnatelně tišší.



Obr. 1: Zdroje automobilového hluku [7]

Pneumatika samotná ovšem není jediným zdrojem hluku. Zvuková energie vzniká při jejím kontaktu s vozovkou a tak se do celé problematiky dopravního hluku dostává vozidlo a jeho rychlost jízdy. Studie prokázaly, že hlavním zdrojem hluku při nízkých rychlostech (osobní automobily do 40 km/h, nákladní do 65 km/h) je hnací jednotka. Tato hranice není ovšem přesně definována. U osobních automobilů se dle typu může tato hranice vyšplhat i k 50 km/h. Při vyšších rychlostech, až do 200 km/h začíná převládat hluk, který produkuje samotná jízda auta, tedy hluk z valení. Je produkován interakcí pneumatiky s vozovkou. Při rychlostech vyšších jak 200 km/h převládá hluk aerodynamický. [6]



Graf 1: Příspěvky jednotlivých dílčích zdrojů hluku [7]

Díky zjištění, že při rychlostech nad cca 50 km/h je primárním zdrojem hluku interakce pneumatiky s vozovkou, se stalo moderním trendem analyzovat možnosti snižování hlučnosti primárně pomocí nízkohlučných vozovek. Tiché kryty byly tématem diskuse v několika komunitách v USA a byly intenzivně studovány v mnoha zemích Evropy, v Japonsku či Austrálii. Na základě těchto studií bylo zjištěno, že je možné budovat a spravovat vozovky, které jsou tišší než běžné vozovky, ale zároveň také bezpečné, odolné a efektivní z hlediska nákladů. [3]

4.1 Zdroje hluku

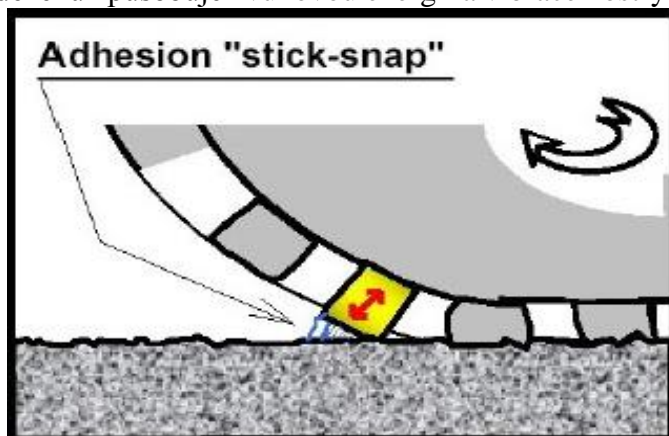
Pokud se soustředíme pouze na hluk z rozhraní pneumatika/vozovka, lze říci, že zde několik mechanismů vytváří energii, kterou je posléze možno definovat jako hluk. Mechanismy, které tento hluk vytváří, označujeme jako primární zdroje hluku. Mechanismy, které hluk pouze zesilují, ale sami ho nevytváří, jsou označeny jako sekundární zdroje hluku. [6]

4.1.1 Primární zdroje hluku

4.1.1.1 Adheze (Stick-snap)

Stavba pneumatiky a kontakt mezi dezénovým blokem a vozovkou způsobuje adhezi (přilnavost). Tento jev lze popsat tak, že se pneumatika chová jako „přísavka“. Pokud existuje

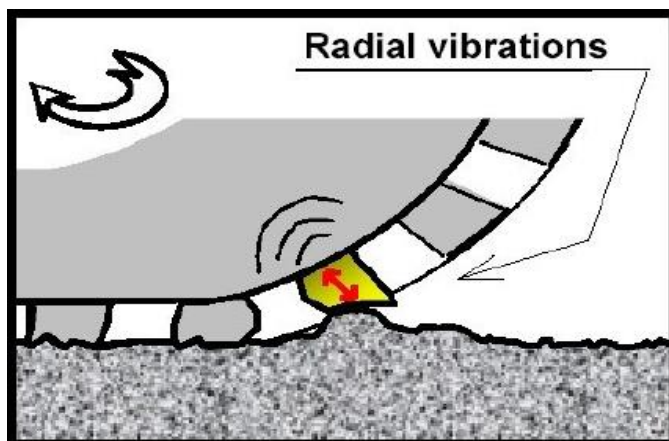
kontaktní plocha mezi vozovkou a pneumatikou, je dezén přitlačován k vozovce adhezí silou (Obr. 3). Uvolnění bloku dezénu způsobuje zvukovou energii a vibrace kostry pneumatiky. [3]



Obr. 2: Znáznornění jevu adheze - přilnavosti [3]

4.1.1.2 Náraz dezénového bloku (Tread impact)

Všechny druhy pneumatik jsou si v zásadě podobné svou strukturou. Na běhounu kolem celého obvodu bývá pneumatika drážkována, aby byl zajištěn dostatečný odvod vody v létě a odvod sněhu v zimě. Výjimku tvoří pouze závodní pneumatiky, tzv. „slicky“ které dezén nemají. Při jízdě vozidla dochází postupně k nárazu jednotlivých dezénových bloků na nerovný povrch způsobený makrotexturou, mikrotexturou a mezerovitostí vozovky v tzv. kontaktní zóně a tím se produkuje hluk (Obr. 4). [3]

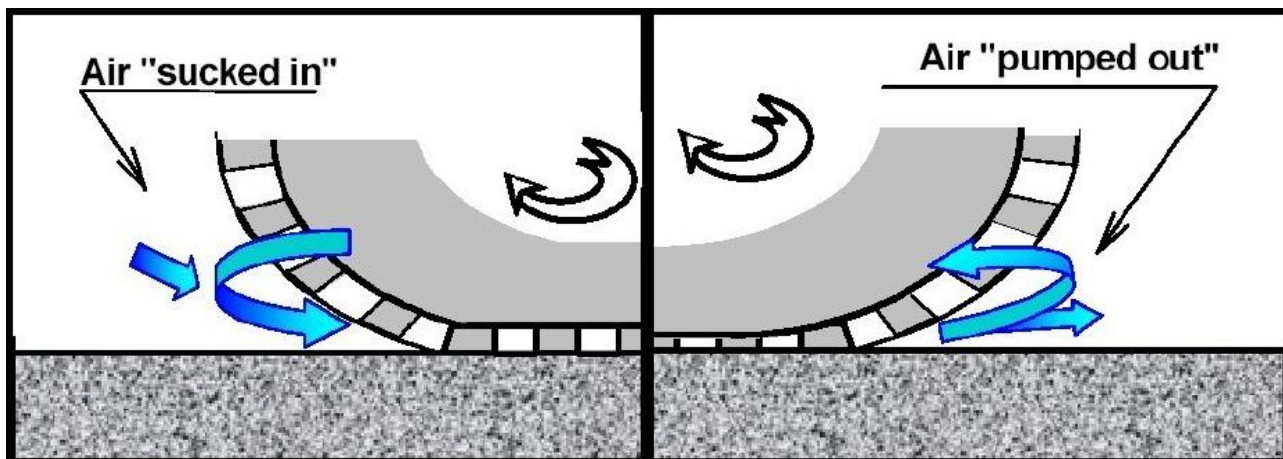


Obr. 3: Znáznornění nárazu dezénového bloku [3]

Nárazem dezénového bloku se celá pneumatika rozvibruje. V případě, kdyby byly oba materiály podobně pružné, hluková energie by se výrazně snížila. Náraz dezénu může být také v některých případech náhodně eliminován a to díky je příznivému uspořádání kameniva. Při jízdě pneumatiky dezénový blok postupně „naráží“ do textury povrchu, tím se rozvibrují bočnice a tak se tvoří hluk o frekvencích 500 až 1 000 Hz. Tento negativní jev lze eliminovat pomocí pružného povrchu s menší velikostí frakce kameniva či vhodnou volbou textury. [3]

4.1.1.3 Sání vzduchu (*Air pumping*)

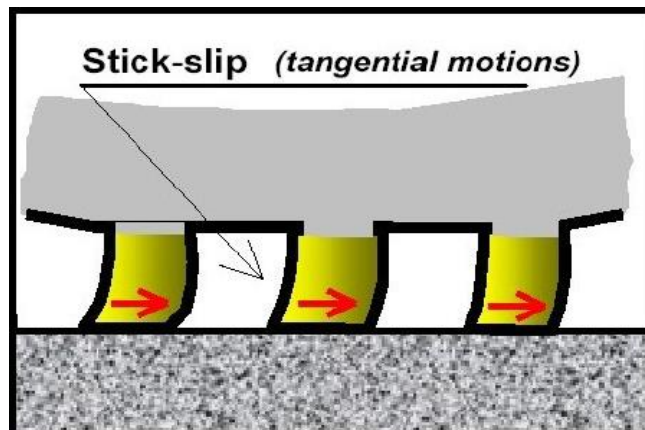
Tento zdroj hluku je svou podstatou podobný jako tleskání rukou. Má dvě fáze – tzv. „pumped out“ neboli vytlačování vzduchu a „sucked in“ neboli nasávání vzduchu. (Obr. 3). Jakmile se pneumatika začne otáčet, dochází na přední straně k vytlačování vzduchu. Pootočením se na zadní straně začne vzduch nasávat. Tímto způsobem je pak generován hluk o vysokých frekvencích (1000 až 2000 Hz). Redukovat tento zdroj můžeme použitím krytu s otevřenou texturou - velkou mezerovitostí. [3]



Obr. 4: Znárodnění sání vzduchu [3]

4.1.1.4 Tření mezi povrchem a pneumatikou (*Slip-stick*)

Průvodním jevem interakce téměř všech materiálů je tření. Na rozhraní/pneumatika vozovka tomu není jinak. Jelikož je pneumatika zakřivená, snaží se „vyrovnat“ vozovce a přizpůsobit se makrotextuře. Proto dochází ke tření, které označujeme jako hysterezní (Obr. 6). Toto tření má malou hodnotu, ovšem diametrálně se zvyšuje s rozjezdovými či brzdnými silami kdy se pneumatika deformuje. Tento jev lze porovnat k pískání bot při sálových sportech. Při snaze o redukci tohoto zdroje rozhoduje typ pneumatiky a její výrobce. [3]



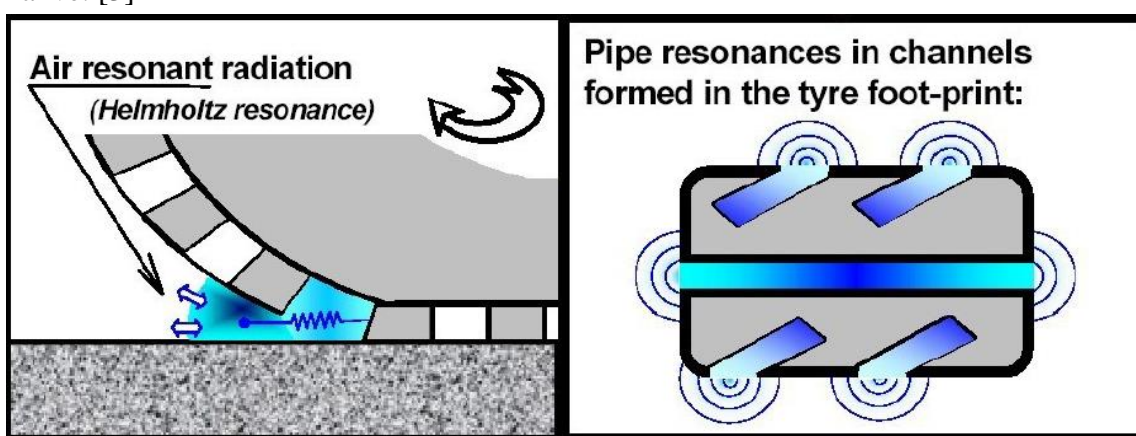
Obr. 5: Znárodnění tření [3]

4.1.2 Sekundární zdroje hluku (zesilující mechanismy)

V mnoha případech není energie z primárních zdrojů vyzařována efektivně jelikož nemají vhodný tvar ani velikost. K zesílení této energie přispívají tedy sekundární zdroje hluku, kdy tyto jevy připomínají „hudební nástroje“. [3]

4.1.2.1 Helmholtzovy rezonátory

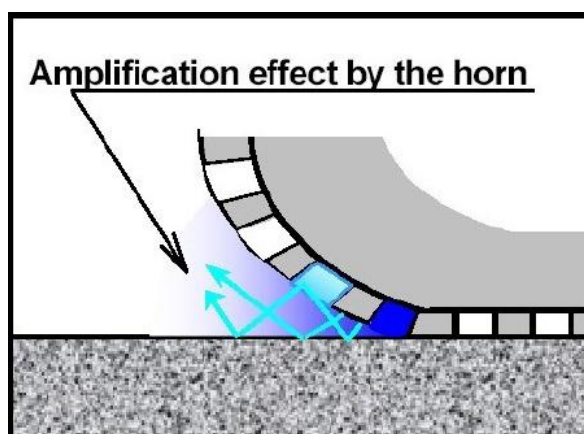
Boční drážky dezénu pneumatiky v kontaktní zóně se díky své tvarové charakteristice chovají jako akustické systémy, které navyšují vyzařování zvuku. Přirovnání se nabízí u systému rezonance varhanních píšťal a Helmholtzových rezonátorů (Obr. 6), které produkují zvuk jako při pískání přes hrdlo lahve. [3]



Obr. 6: Schematické znázornění rezonátoru [3]

4.1.2.2 Efekt trubky (Horn effect)

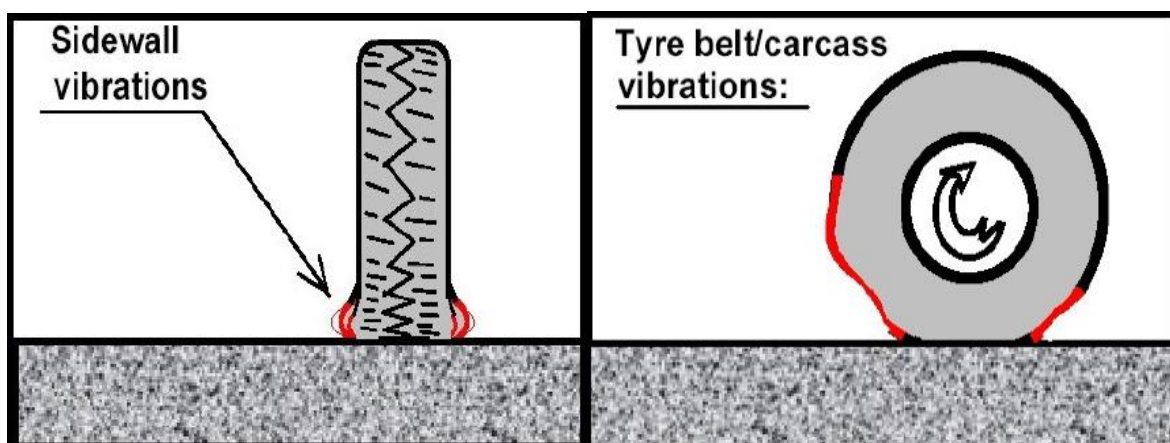
Díky geometrii nad vozovkou lze pneumatiky považovat za malé žesťové nástroje - malá trubka či klakson (Obr. 7). Ačkoliv tvarem se to těmto hudebním nástrojům ani zdaleka nepřibližují, zvuk vytvořený jakýmkoli primárním zdrojovým mechanismem v blízkosti hrdla „klaksonu“ bude díky tomuto efektu zesílen. [3]



Obr. 7: Schematické znázornění rezonátoru [3]

4.1.2.3 Vibrace kostry pneumatiky

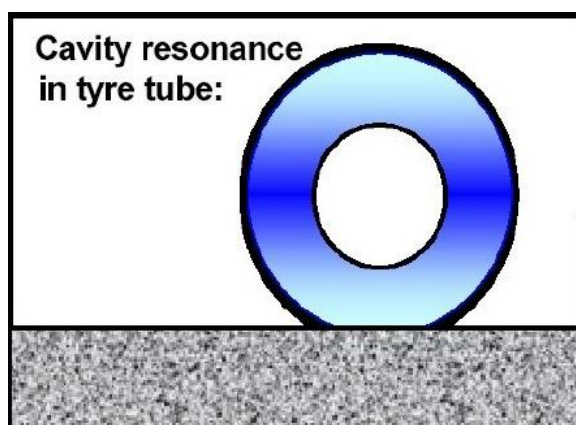
Vibrace vzniklé na styčné ploše mezi pneumatikou a vozovkou se zvyšují s působením kostry pneumatiky. Vibrační vlny se šíří v běhounovém pásu, což je základní konstrukční prvek pneumatiky nacházející se v těsné blízkosti dezénu. Tyto vlny tak vytváří energii, která je vyzařována z kostry kola. Navíc bočnice kostry, v blízkosti kontaktní plochy taktéž vibruje a vytváří hluk (Obr. 8). [3]



Obr. 8: Znázornění vibrace kostry pneumatiky [3]

4.1.2.4 Vnitřní akustická rezonance

Vzduch uvnitř pneumatiky, který je zde jako výplň, také přispívá ke tvorbě hluku. Při určitých frekvencích spojených s přirozenou frekvencí toroidní vložky uvnitř pneumatiky, vzduch uvnitř pneumatiky rezonuje (Obr. 8). Odezva vzduchu uvnitř pneumatiky je dostatečná, aby tyto rezonance byly slyšitelné a zesilovaly primární zdroje. [3]



Obr. 9: Znázornění vnitřní akustické vibrace [3]

4.2 Shrnutí zdrojů hluku

Problém hluku na rozhraní pneumatika/vozovka je rozčleněn do několika sfér. Všechny čtyři primární zdroje hluku byly shledány jako rozhodující pro určité kombinace vozovky s pneumatikou. Tudiž záleží na aktuálních podmínkách, který zdroj se momentálně podílí na tvorbě hluku nejvíce. Proto je složité rozvíjet strategie, které budou schopné eliminovat zdroje hluku pro případy, jako je například rychlost vozidla či stav vozovky. Navíc, pokud si jsou zdrojové mechanismy podobné, co se týče jejich síly, strategie potlačit jeden mechanismus nebude mít tak velký efekt na celkový hluk, protože ostatní zdroje se stanou dominantními.

Strategie pro dosažení redukce nežádoucího hluku komplikují také zmíněné sekundární zdroje. Příspěvky od těchto zdrojů jdou často obtížně rozlišit jeden od druhého, a tudíž není vždy jasné, který z mechanismů je rozhodující pro určité povrchy a podmínky. Mělo by být také zdůrazněno, že mechanismy pro generování či zesílení hluku z vozovky a pneumatiky jsou přímo zahrnuty v charakteristikách rozhraní pneumatika/vozovka, a mělo by se brát ohled především na požadavky bezpečnosti, trvanlivosti a ceny.

Hluk z rozhraní pneumatika/vozovka je náročným problémem a metody pro jeho eliminaci nejsou prozatím přímočaré a jednoznačné. [3]

4.3 Lze hluk z dopravy snížit?

V rámci nejrozumnějších studií se tedy nabízí otázka, jak účelně dopravní hluk redukovat. V různé míře je možné dosáhnout snížení hlukové zátěže ze silniční dopravy, která zahrnuje opatření u zdroje hluku, na dráze šíření hluku a u příjemce, tedy na budovách. Pokud chceme dopravní hluk snížit, v zásadě můžeme použít čtyř základních přístupů:

- Urbanisticko-architektonická protihluková opatření
- Urbanisticko-dopravní protihluková opatření
- Dopravně organizační protihluková opatření
- Stavebně-technická protihluková opatření

4.3.1 Urbanisticko-architektonická protihluková opatření

Tyto opatření se uplatňují již při samotné urbanizaci oblasti. Jde tedy o komplexní řešení obytných souborů z hlediska funkčního uspořádání. Je tedy nutné např. vhodně dislokovat obytné domy a byty od hlavních komunikací a naopak blíže ke komunikaci situovat budovy nevyžadující protihlukovou ochranu. V rámci tohoto protihlukového přístupu lze také dbát na vhodné dispoziční řešení budov, např. obývací místnosti situovat na odvrácenou stranu komunikace či samotná okna

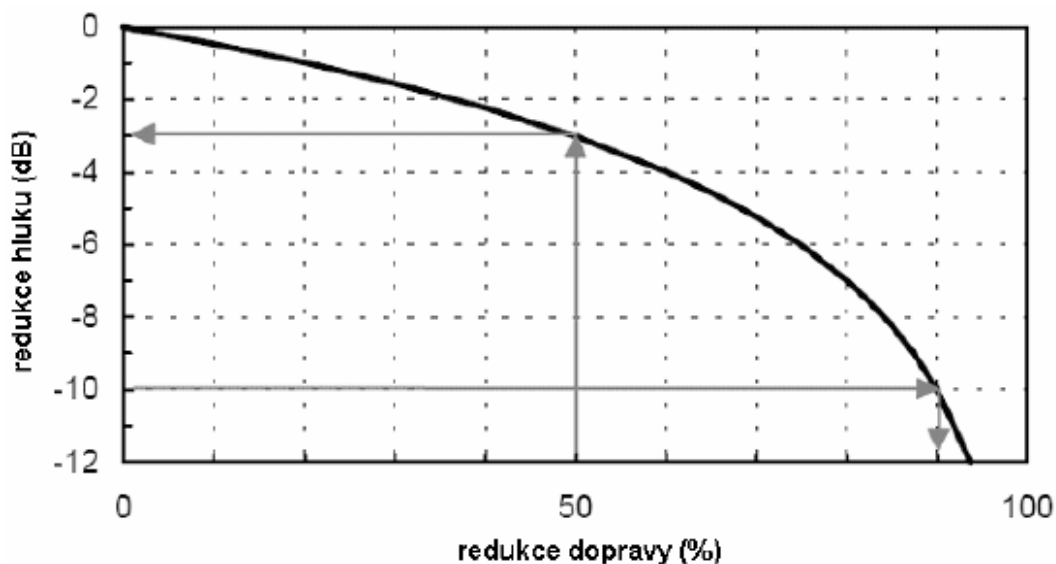
pobytových místností situovat do vnitrobloku. Další možností je využití zvukového stínu vytvářeného budovami. Přiměřeně je také možné se zabývat tvarem budovy a jejím průčelím.

4.3.2 Urbanisticko-dopravní protihluková opatření

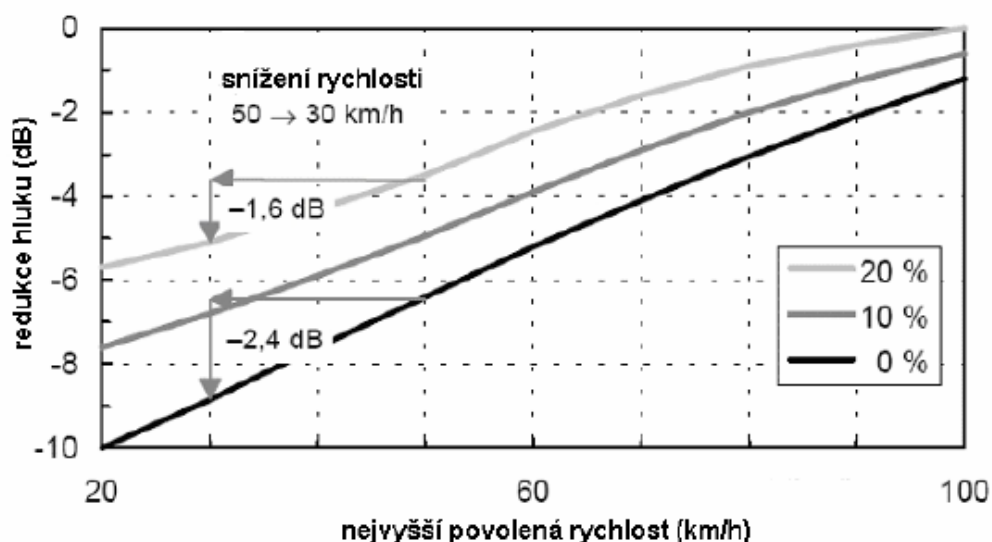
Opatření související s organizací dopravy v širších souvislostech. Je třeba optimalizovat přepravní nároky a racionalizovat přepravní vztahy. Soustředit by se mělo na odvedení nepotřebného tranzitu z citlivých oblastí typu obytných, zdravotních, školních či rekreačních zón. Trasy komunikací, parkoviště a jiné dopravní plochy je vhodné situovat v dostatečné vzdálenosti od těchto zón. Ideálním prvkem je vytvoření podmínek pro preferenci městské hromadné dopravy.

4.3.3 Dopravně-organizační protihluková opatření

Třetím možným řešením snižování hluku z dopravy jsou dopravně-organizační protihluková opatření, kdy se nejdůležitějšími činiteli při snižování hluku stávají společně vliv intenzity dopravy a vliv rychlosti (např. Zóna 30). Lepší organizací dopravy (zvýšením její plynulosti) lze také dosáhnout menších hlukových emisí z důvodů méně častých rozjezdů a brždění automobilů. Mezi tyto opatření patří také např. výstavba příčných prahů, jelikož se zde uplatňuje snížení rychlosti. Z grafu 2 lze vyčíst, že při snížení intenzity na 50%, lze docílit snížení hlučnosti asi o 3 dB. Co se týče rychlosti, tak zdroje uvádí, že při snížení rychlosti o 20 km/h dosáhneme snížení emisí o cca 2,5 dB.



Graf 2: Závislost intenzity dopravy na produkci hluku [7]



Graf 3: Závislost rychlosti dopravy na produkci hluku [7]

4.3.4 Stavebně-technická protihluková opatření

Z pohledu stavebně technického je k dispozici mnoho variant jak snižovat hluk. Toto množství je ale znevýhodněno často velkou finanční náročností. Z pohledu stavebně-technického se tak jedná o výškové řešení (podélný profil), umístění trasy do jiné úrovně (estakády, zářezy) či provedení nízkohlučné krytové vrstvy. V poslední době se v České republice velmi rozšířilo budování protihlukových stěn. Je ovšem na uvážení, jestli je ve všech případech výstavba těchto stěn nejefektivnějším a nejekonomičtějším řešením při redukci hlukové zátěže. Obecně se přistupuje k protihlukovým stavebním úpravám dvěma způsoby – aktivní a pasivní opatření. Ve většině vyspělých zemí by se měl upřednostňovat aktivní systém.

Ve druhém případě, při pasivních opatřeních, se provádí úpravy na budovách – zesílení prosklení, hlukové izolace atd. Tyto úpravy se logicky neupřednostňují, jelikož hluk se řeší primárně u zdroje a ne u uživatele. Do aktivních systémů redukcí hluku spadá např. vedení trasy v zárezu, tunelu, výsadba zeleně či zvýšení vzdálenosti trasy pozemních komunikací od chráněných objektů. Při stavebně-technických opatřeních tak přichází na řadu možnost hlubšího využití protihlukových povrchů vozovek. [7]

- | | |
|--|-------------------|
| • Separace silniční a železniční dopravy | snížení o 0-6 dB |
| • Bariéry | snížení o 0-15 dB |
| • Tunely | snížení o 0-30 dB |
| • Vegetace | snížení o 0-1 dB |
| • Podúrovňové komunikace | snížení o 0-5 dB |
| • Hlukové zónování | snížení o 0-20 dB |

Typy protihlukových stěn

- Panely LIADUR (nízké, vysoké a rovné profily)
 - možné redukce hluku – nízké 8 dB, vysoké 11 dB, rovné 4 - 8 dB



Obr. 10: Ukázka různých protihlukových stěn typu LIADUR [8]

- Panely z recyklované pryže – redukce až 7 dB
- Hliníkové zakřivené panely – redukce až 9dB
- Dřevěné s výplní – redukce až 11 dB [8]



Obr. 11: Protihlukové stěny z pryže, hliníku a dřeva [8]

Požadavky na protihlukové stěny

- Protihluková účinnost
- Konstrukční bezchybnost
- Bezpečnost pro motoristy
- Odolnost
- Vizuální přijatelnost

4.4 Strategické hlukové mapy a akční plány

Jedná se o dva systémové, cyklické kroky, které spolu úzce souvisí v rámci mapování akustické situace v území.

4.4.1 Strategická hluková mapa

Jedná se o modelové zjištění akustické situace v okolí vybraných zdrojů hluku v požadovaných akustických ukazatelích. Jde o mapu plošného typu, kdy je pomocí izofon zobrazena hluková situace v oblasti. Svým způsobem tak kvantifikujeme akustickou situaci k definovanému datu (roku) s uvažováním všech realizovaných protihlukových opatření v území a s přihlédnutím ke zdrojům hluku. SHM se vyjadřuje nejen graficky, ale i v textové podobě. Hlavními ukazateli jsou L_{dvn} (den-večer-noc) a L_n (noc). Díky těmto hodnotám dostáváme údaje o hlukové situaci a můžeme zjistit případné překračování limitů či počet osob, který je těmto nebezpečným účinkům hluku vystaven. SHM je vždy vystavena pro rok, jež předchází termínu dokončení. Cílem SHM by mělo tedy být vytvoření kvalitního podkladu pro stanovení tzv. „hot spots“, tzn. kritických míst v území, kde dochází k trvalému překračování hygienických limitů. Předmětem SHM mapování bývají nejčastěji:

- Aglomerace s více než 250 tis. obyvateli (Praha, Brno, Ostrava), zde jsou sledovány prakticky všechny zdroje hlukových emisí (průmysl, doprava atd.)
- Všechny hlavní silnice s intenzitou vozidel více než 6 milionů voz/rok (tj. cca 1350 km silnic v rámci ČR)
- Všechny hlavní železniční tratě, po kterých projede více než 60 tisíc vlaků za rok (tj. cca 300 km v rámci ČR)
- Hlavní civilní letiště, které má více než 50 tisíc vzletů nebo přistání za rok (letiště Václava Havla v Praze)

SHM je základní podkladový dokument pro druhý systémový krok tohoto procesu, pro akční plány.

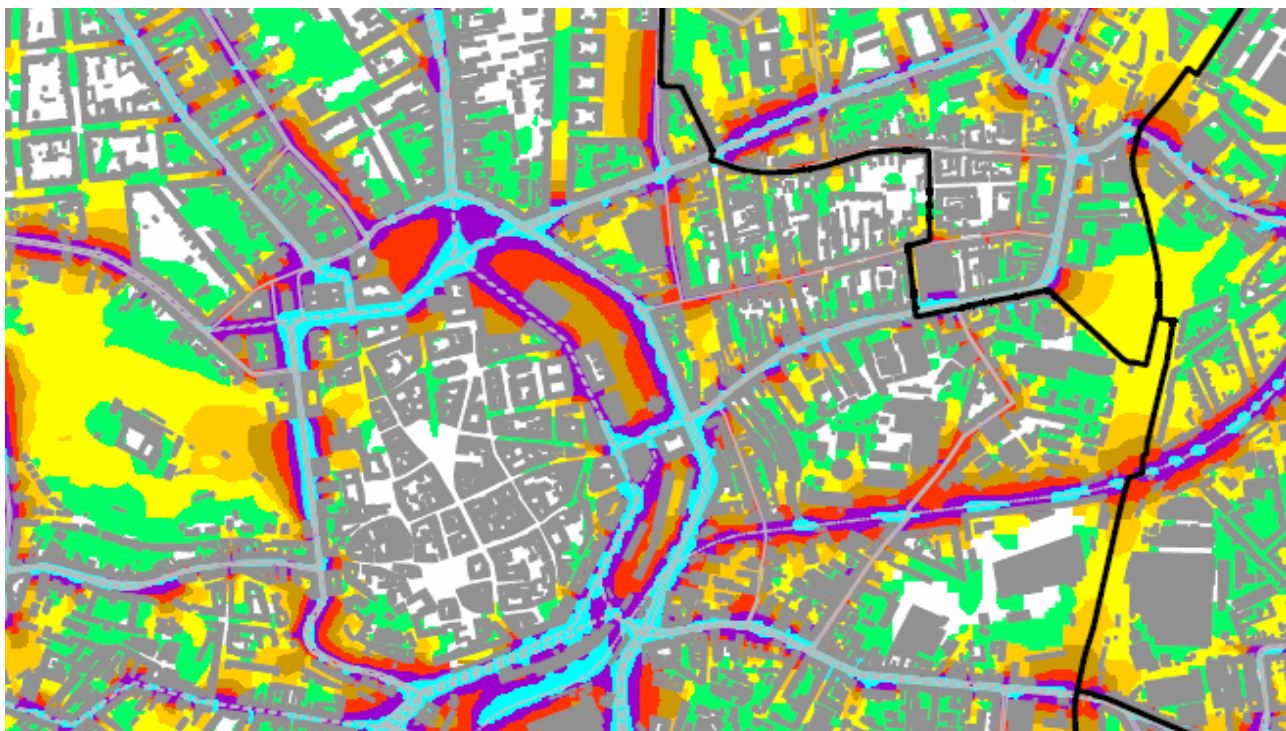
4.4.2 Akční plány

Tento termín úzce souvisí se snižováním hlučnosti v území. Akčním plánem rozumíme opatření k řešení škodlivých a obtěžujících účinků hluku včetně potřebného snížení hluku. Jeho cílem je řízení postupů a priorit při vytváření budoucí akustické situace. AP se uplatňují v rámci územního plánování, inženýrských opatření v oblasti dopravních systémů či plánování dopravy. Výsledkem AP by mělo být celkové snížení počtu hlukově zatížených osob v okolí sledovaných zdrojů hluku. Celý proces bývá často stanoven a požadován jako cyklický s minimálním cyklem 5

let, kdy je předpokládáno, že v tomto období může dojít k realizaci některých plánovaných opatření, které by se zákonitě v dalším kole strategického hlukového mapování již měly na výsledcích projevit. Jak je patrné, jedná se o dlouhodobý proces postupného snižování zatížení území hlukem v okolí legislativou vybraných dominantních zdrojů hluku. Celý proces tedy slouží pro řízení a zpětnou vazbu - kontrolu úspěšnosti snahy státu, resp. provozovatelů jednotlivých zdrojů hluku při eliminaci jejich negativních dopadů. Aby mohly být tyto cíle zrealizovány, je nutné:

- Určit míru expozice ve venkovním prostředí pomocí SHM
- Zpřístupnit informace o hluku ve venkovním prostředí
- Na základě těchto výsledků zpracovat a přijmout akční plány pro vytipované „hot spots“

Opatření vyplývající z akčních plánů, by posléze mělo být součástí plánování dopravních cest, územního plánování či technických opatření zdrojů hluku [11]



Obr. 12: Ukázka strategické hlukové mapy - Brno, denní doba (6:00-22:00) - tzv. „hot spots“ by v tomto případě byly místa, označené červenou barvou [12]

5. PRINCIPY PROTIHLUKOVÝCH KRYTŮ VOZOVEK

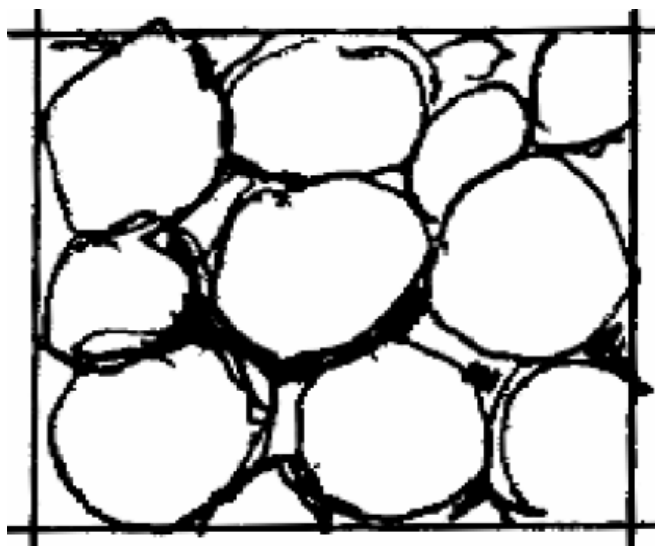
V současné době existuje několik technologických zásad při navrhování povrchů vozovek, které by se posléze dali označit jako protihlukové či nízkohlučné. Každý návrh by měl brát ohled na to, zda je komunikace v intravilánu či extravilánu. V extravilánu v zásadě neexistují žádné limitující podmínky pro aplikaci nízkohlučných obrusných vrstev. V intravilánu je však situace jiná a to hlavně z důvodu vlastních okrajových podmínek komunikace. Ty jsou dány možnostmi pokládky, pravděpodobnostmi dalších výkopů a překopů v důsledku oprav např. inženýrských sítí a také i odlišnou dopravní situací, např. změny směru jízdy. [9]

Nízkohlučné kryty se ovšem staly velkým krokem kupředu v boji proti automobilovému hluku. U spousty odborníků se ovšem nesetkaly s kladným ohlasem. Svým způsobem se nejedná o mimořádné vozovky, které vyřeší všechny problémy na silnicích, ale svou strukturou mohou tyto kryty redukovat hladiny hluku v dopravě. Takových krytů je na trhu celá řada a primárně je můžeme rozdělit na tuhé a netuhé protihlukové kryty. V případě CB krytu však nelze zcela hovořit o protihlukovém krytu, jelikož betonová vozovka není primárně určena pro snižování hlučnosti. Dodatečnou úpravou CB desek však lze dosáhnout nižších emisí, než v případě neupravené desky. Jedná se o úpravu vlečenou jutou či o tzv. vymývaný beton. O mnoho zajímavější jsou však kryty netuhé, tedy asfaltové. Zde existují dva přístupy k ovlivňování hlučnosti krytu. Těmito činiteli je mezerovitost krytu (drenážní koberce) a velikost frakce kameniva krytu (jemnozrnné koberce, asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy). Tyto přístupy lze samozřejmě kombinovat, tudíž je možnost využití asfaltového koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM) s vyšší mezerovitostí. Na redukci hluku protihlukovými kryty však se nesmíme dívat jako na samostatnou záležitost, vždy je třeba brát v úvahu i další vlastnosti vozovky, např. protismykové vlastnosti. Proto je vždy nutné veškeré úpravy monitorovat z více stran. Většinou platí, že jednotlivé úpravy zlepšující protismykové vlastnosti, naopak negativně ovlivňují hlukové emise, u cementobetonových krytů zejména striáž. Neodmyslitelným činitelem je také stáří vozovek. Jednotlivé protihlukové kryty jsou neustále vyvíjeny a modernizovány, z tohoto důvodu je velmi složité nízkohlučné koberce detailně porovnávat co se týká redukce hluku. Je tedy nezbytné uvádět i další doplňující údaje, jako je například datum pokládky. [10]

5.1 Netuhé vozovky

5.1.1 Porézní kryty (PA)

Porézní asfaltové kryty jsou zástupcem vozovek, kdy je hluk redukován díky velké mezerovitosti. Vozovka tak není svým způsobem zcela kompaktní, jelikož v ní vznikají póry, viz Obr. 12.



Obr. 13: Typická struktura jednovrstvého porézního asfaltového krytu [3]

Obecně porézní asfaltové kryty redukovují hluk pohybující se frekvencí kolem nad 800 Hz, což je hodnota, na kterou je lidské ucho velice citlivé. Největší pórovitost se u asfaltových krytů pohybuje mezi hodnotami 18% – 25%. Z primárních zdrojů hluku porézní kryty nejvíce redukovují tzv. sání vzduchu, kdy póry potlačují kompresi vzduchu. Dále póry velmi příznivě ovlivňují redukcí i sekundárních zdrojů - Helmholtzovy rezonátory či trubkový efekt.

Tyto kryty jsou také schopné snižovat hluk nejen samotným snižováním efektu zdrojů hluku, ale také svou druhou příznivou vlastností. Tou je absorbování hluku, kdy se zvuková energie od krytu neodrazí, ale je částečně pohlcena díky zmiňované velké mezerovitosti. Tyto absorpční vlastnosti jsou na stejném principu, jako mají zvukové izolace v budovách. Jelikož je hluk z rozhraní pneumatika/vozovka generován velice blízko povrchu krytu, nemusí být pohlcování hluku nejvýznamnějším činitelem při všeobecném snižování hladiny hluku. Ovšem pro nákladní vozidla a všeobecně pro nadměrná vozidla, s významnými zdroji zvukové energie pod karoserií, jako je např. hluk od motoru, může být tato absorpční vlastnost významným faktem při redukcí hluku.

Třetí význačnou vlastností porézních krytů je jejich skvělá drenážní schopnost. Tedy jejich schopnost dobře odvádět srážkovou vodu z povrchu krytu, kdy je póry odváděna na nepropustnou vrstvu a odtud dále z povrchu zemního tělesa dodatečným odvodňovacím zařízením mimo

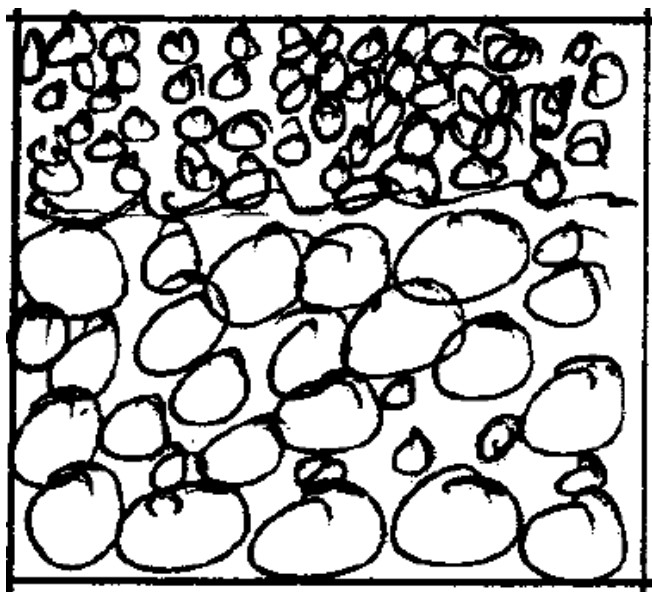
konstrukci vozovky. Jako nepropustná vrstva se využívá například SAMI vrstva (pružná membrána), nebo asfaltové vrstvy s nízkou mezerovitostí. SAMI vrstva slouží také jako prvek snižující prokopírování trhlin ze spodních vrstev vozovky. [3]

Výhodou těchto koberců je, ač se to nezdá, zimní údržba, jelikož nepoužívanější materiál údržby – sůl, propadává krytem do nižších vrstev a zůstává tak v konstrukci, kde se tvoří solné vody a tyto kryty jsou tak méně náchylné k namrzání. Narozdíl od klasických asfaltových betonů ACO, které mají uzavřenou strukturu (malá mezerovitost) a sůl tak zůstane na povrchu, kde je následně rozmetána rychlým projetím automobilů a neplní tak svoji funkci. Použití šterku, jako posypového materiálu PA vrstvy se z důvodu ucpání pórů nedoporučuje.

Proti výše uvedeným výhodám stojí vyšší pořizovací náklady na drenážní vrstvu, která obvykle potřebuje vyšší obsah modifikovaného pojiva, kvalitní kamenivo a dodatečné stavební úpravy pro odvod srážkové vody.

Existují také zásadní problémy spojené s drenážními asfalty. Jedním je dlouhodobá ztráta redukce hluku kvůli ucpávání vozovky pískem a dalšími nečistotami spojenými s provozem na takto stavěných pozemních komunikacích. Toto „ucpávání“ má dvě etapy. Jako první se nečistotami zanáší póry („caking“). Tento děj však lze omezit čištěním povrchu. Následuje však vytvoření povlaku v dutinách z vysušených nečistot, které byly dříve rozpuštěny ve vodě, ze kterých se následně vytvoří „zátky“, která nemůže být vyčištěna vodou („clogging“). Míru zanesení vrstvy lze nepřímo změřit hydraulickou propustností. Největší ztráta drenážních schopností nastává během prvních dvou až tří let používání. Další nevýhodou drenážních koberců je, že se protihlukové vlastnosti projevují zejména při vyšších rychlostech. Tato rychlost je udávána někde mezi 50-70 km/h. Velký vliv na tuto rychlost má však hustota dopravy a složení dopravního proudu. Zásadnějším problémem je však to, že díky své otevřené struktuře, jsou tyto asfalty více vystaveny působením klimatických vlivů než uzavřené směsi. Asfaltové pojivo je tak více náchylné ke stárnutí. Vznikají tak trhliny či dokonce vylamování zrn kameniva z vozovky.

Schopnosti snižování hluku a odvodu srážkové vody tak nejsou zcela uspokojivé. Tento fakt tak dává prostor pro hledání krytů s vyšší a dlouhodobější redukcí dopravního hluku. Částečným řešením těchto nedostatků tak může být zvyšování tloušťky drenážních koberců, čehož dosáhneme použitím dvouvrstvého asfaltového koberce drenážního. Používané tloušťky vrstev jsou 20-30 mm (kamenivo frakce 0/8) pro svrchní vrstvu a 30-60 mm (kamenivo frakce 0/16) pro spodní vrstvu. Lepší vlastnosti jsou dosaženy tím, že vrchní vrstva funguje jako filtr, kdy nepustí do spodních částí nečistoty a ty se tak neucpou. [13]



Obr. 14: Typická struktura dvouvrstvého porézního asfaltového krytu [3]

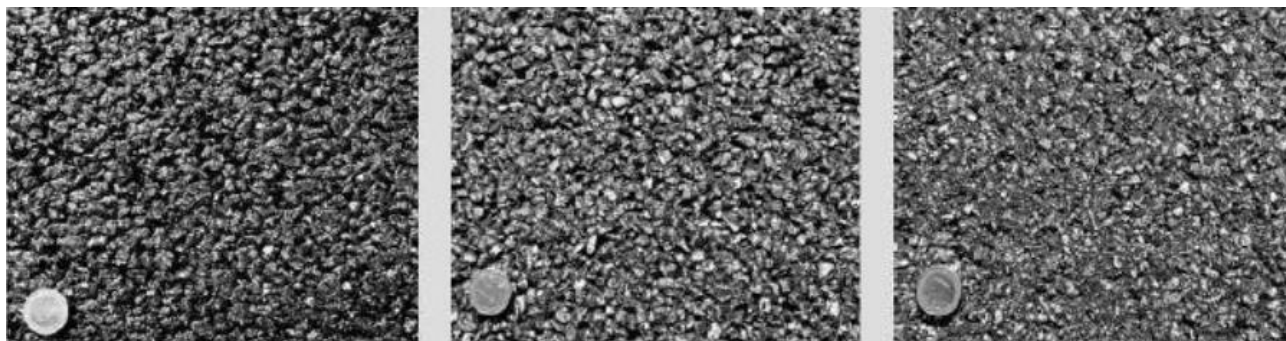
5.1.2 Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy (BBTM)

Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy jsou zástupcem protihlukových krytů, kdy je hluk redukován díky malé velikosti frakce kameniva. Je tedy snižován efekt zdroje hluku, kdy jsou emise generovány nárazem dezénu pneumatiky do makrotextury. Při použití protihlukového krytu tohoto typu, tak odpadají problémy s ucpáváním krytu. Asfaltové koberce pro velmi tenké vrstvy používají mezerovitost nejčastěji 7% až 10% a je vhodné, aby zde bylo používáno vysoce kvalitní kamenivo velikosti frakce do 10 mm (BBTM8). Často je však použito kamenivo frakce 5 mm (BBTM5). Při použití frakce velikosti 8 mm tvoří velkou část kamenivo maximální velikosti 4/6 mm, při použití 5 mm frakce je většina kameniva tvořena frakcí velikosti 2/4 mm. Typická tloušťka této vrstvy bývá v České republice 30 mm, objevují se i pokusy dosáhnout tloušťky 25 mm. V zahraničí se používá krytů tloušťky i 20 mm. Tato tloušťka závisí na zvolené frakci kameniva. Malá frakce kameniva tak inklinuje k vytvoření povrchu s velmi malou a nevýraznou, charakteristickou texturou, která bývá často menší než 4 mm. Pórovitost, která je relativně nízká, je však stále efektivní pro odvod srážkové vody a redukci vysokofrekvenčního hluku z dopravy.

Typické hodnoty redukce hluku asfaltových koberců pro velmi tenké vrstvy se pohybují kolem 3-4 dB v porovnání s klasickými asfaltovými koberci (ACO). Na rozdíl od porézních krytů, se redukce hluku objevuje již od nízkých rychlostí 35 km/h - 40 km/h a tak jsou kryty často využívány v městských podmínkách. Tento typ vozovky (BBTM) je svým složením velmi podobný asfaltovým povrchům s použitou malou frakcí kameniva – SMA8 (protihlukový), které jsou hojně využívány v Evropě. [3]

5.1.3 Asfaltové koberce mastixové (SMA)

Jako nízkohlučné kryty lze s úspěchem použít také asfaltové koberce mastixové SMA8 LA (LA = Lärmarm = nízkohlučný). U tohoto koberce je využito kombinace obou dvou přístupů ke snižování hluku, tedy menší velikost frakce kameniva (8 mm) a také vyšší mezerovitost (10-12 %). Tato směs vznikla v Německu a svou skladbou vychází z běžných asfaltových koberců mastixových, které jsou i u nás běžně využívány. Udává se, že výhodou těchto koberců oproti PA i BBTM je delší životnost, možnost vyššího dopravního zatížení a také nižší riziko trvalých deformací. Mezi další výhody, stejně jako u BBTM, je méně problematická výroba této směsi, bezproblémová zimní údržba a odpadá také nutnost provádění těsnící SAMI vrstvy. [19]



Obr. 15: Porovnání mastixových koberců; vlevo nová směs SMA8 LA, uprostřed tatáž po 2 letech používání a vpravo běžná SMA8 S po dvou letech používání [19]

Směs SMA8 LA je svou strukturou velice podobná směsi PA8. V české republice je použití těchto vrstev novinkou, nicméně nedaleko Vyškova na rychlostní silnici R46 byl proveden zkušební úsek, který byl podroben měření emisí hluku v rámci této diplomové práce.

5.1.4 Koberce s asfaltovým pojivem modifikovaným pryžovým granulátem

Toto pojivo, označované jako CRmB (Crumb Rubber modified Asphalt), nebo lidově gumoasfalt, může být využíváno u všech typů asfaltových směsí - PA, BBTM, ACO, SMA. Gumoasfalt vytvoří na povrchu tlustší asfaltový film, který způsobuje nižší emise hluku. Toto pojivo a používá se jak při výstavbě, tak i údržbě či opravách pozemních komunikací, dopravních ploch či zpevněných krajnic.

Pryžový granulát - odpadní pryž zbavená příměsí kordu a upravená mechanicky drcením a mletím, popř. kalandrováním. Vrstva z hutněné asfaltové směsi se vyznačuje tím, že se granulovaná, mletá nebo jinak upravená pryž z ojetých pneumatik přidává do silničního asfaltu v míchacím zařízení, kde modifikuje vlastnosti asfaltu a takto připravený modifikovaný asfalt se používá pro výrobu asfaltových směsí. Ve směsi je možné použít vyšší obsah pojiva. [3]

Asfaltové pojivo modifikované pryžovým granulátem tak příznivě ovlivňuje vlastnosti asfaltového koberce. Zahraniční výzkum gumoasfaltů prokázal, že u těchto modifikovaných vrstev lze snížit tloušťku oproti běžně užívaným asfaltovým kobercům, při zachování stejné životnosti. Důvodem tohoto faktu je, že gumoasfalty mají větší odolnost proti únavě, stárnutí a trvalým deformacím. Z doposud realizovaných studií bylo zjištěno, že náklady na údržbu a opravu vozovky jsou nižší než u běžných krytů. Plusem je také možnost jeho následné recyklace (opětovné využití). Také díky mezerovitosti tohoto asfaltového koberce se znatelně snižuje hladina hluku (absorpce) a zabraňuje vytváření vodní clony při dešti. Menší nevýhodou těchto asfaltů je jeho energetická a ekologická náročnost, kdy při zabudovávání granulátu je potřeba přídavné míchací zařízení. [1][23]

Další výhodou asfaltového koberce s pojivem modifikovaným pryžovým granulátem je jeho nesporná ekologičnost. Většina ojetých pneumatik se v České republice využívá pouze energeticky jako přídavné palivo a jen malá část z milionů již z dopravy vyřazených pneumatik se po zpracování stává materiálovou surovinou k další produkci. Vozovky s tímto povrchem budou mít i výrazně nižší náklady na údržbu a opravy. Tyto směsi vyžadují menší obsah jemného a drobného kameniva a tak je možno vyrobit směsi v celé škále mezerovitosti:

- Asfaltový koberec drenážní – PA8 - mezerovitost 14 % - 22%
- Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy – BBTM - mezerovitost 11 % - 15 %, 7 - 10%
- Asfaltový beton obrusný – ACO 11S - mezerovitost 3 % až 5 %
- Asfaltový koberec mastixový SMA 11S - mezerovitost 2,5 % až 4,5 % [1][23]



Obr. 16: Ukázka odvodnění gumoasfaltového koberce drenážního (PA 8 CRmB) [23]

5.2 Tuhé vozovky

V případě cementobetonových krytů se nedá zcela hovořit o protihlukových krytech, nicméně určitými úpravami lze dosáhnout nižších emisí hluku než u cementobetonového krytu bez jakýchkoli úprav.

5.2.1 Vymývaný beton

Cementobetonové vozovky jsou charakteristické, že při testech vykazují obecně vyšší emise hluku. Nároky na povrchovou úpravu komunikací se v posledních letech neustále zvyšují. Důvodem je nejen vyšší intenzita silniční přepravy, ale také důkladnější posuzování ochrany životního prostředí a dopravní bezpečnosti. Tzv. vymývaným betonem lze docílit lepších akustických vlastností. Vyžaduje se však použití dvouvrstvého CB krytu, přičemž obrusná vrstva je složena z kameniva podobné zrnitosti jako asfaltový drenážní koberec. Použitím hladicí lišty dochází také k vylepšení rovnosti povrchu, kdy hladicí lišta urovnává příčné zvlnění vozovky vznikajícím za kladecím rámem finišeru. Dále se na čerstvý kryt nastříkává zpomalovač tuhnutí, který působí do maximální hloubky 2 mm. Posléze, aby bylo zamezeno přílišnému odpařování, se celý povrch překrývá vhodnou fólií, která se pak odstraňuje cca po 24-30 hodinách od pokládky. Následuje speciální kartáčování, čímž se vytváří struktura vymývaného betonu a odstraňuje se povrchová malta. Co se týče akustických vlastností, tak hlavním přínosem je snížení vlivu oscilace pneumatiky. Vymývaný beton prokazuje také lepší protismykové vlastnosti. [1][15]



Obr. 17: Kartáčování cementobetonových krytů [15]

5.2.2 Cementobetonové kryty upravené vlečenou jutou

Technologie výstavby cementobetonových vozovek s vlečenou jutou (tkaninou), se začala využívat v ČR v roce 1992. Jedná se o podélné texturování povrchu. Zavedení této technologie úzce souviselo s prokazatelně vyšší hlučností krytů upravených příčnou striáží, kdy s rostoucí intenzitou dopravy hlukové emise začaly překračovat hygienické limity.

Technologie spočívá v tom, že se juta vleče po čerstvém povrchu betonu. Kdy plošná hmotnost této tkaniny je nejméně 300 g/m^2 a její délka je minimálně 2 m. Důležitou součástí této technologie je také pravidelné plošné vyměňování tkaniny každý pracovní den, aby mohla být vytlačena vždy dostatečná textura. Co se týče hlučnosti, dosahuje tento povrch podobných výsledků, jako povrch vymývaného betonu. Problémem je, že tento povrch nedosahuje dobrých protismykových vlastností. [15]



Obr. 18: Vytváření podélné textury pomocí technologie vlečené juty [22]

Důležitým prvkem této technologie je také to, že by měla být juta dostatečně provlhčena, aby nedocházelo k vylamování zrn z vozovky již při provádění. Další možností této úpravy povrchu pro zlepšení odvodnění povrchu vozovky je také použití ocelového kartáče společně s jutou, kdy se vytvoří odvodňovací drážky. Tyto drážky ovšem vytvoří negativní texturu, která může zvyšovat hlukové emise. [15]

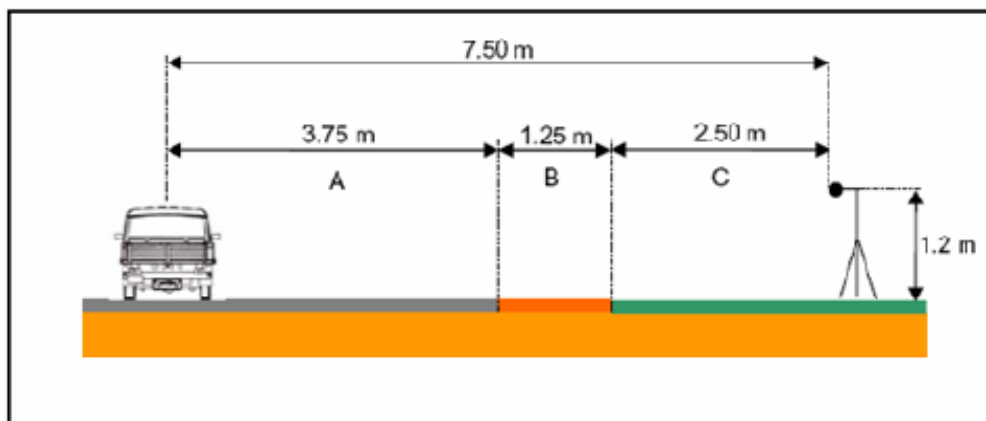
6. METODY MĚŘENÍ HLUKU Z DOPRAVY

Za účelem vyhodnotit hluk z dopravy či zjistit redukce hluku krytu je nezbytné provést spolehlivá akustická měření. Žádná z měřících metod není natolik univerzální, aby mohla být použita za jakékoli situace. Proto je třeba měřící metodu vhodně zvolit. Všechny tyto metody mají přesně specifikované detaily měření a jsou předepsány v normách a technických předpisech. Z hlediska použití se v Evropě nejvíce používají metody SPB a CPX. Při zvolení metody SPB lze prohlásit, že měříme akustické imise, při metodě CPX akustické emise. [3]

6.1 Metoda SPB (Statistical Pass-by)

Při metodě SPB projíždí náhodné vozidla na testovaném úseku a měřící zařízení zachytává každé vozidlo zvlášť. Důležitou součástí měření je radar, který zaznamenává rychlost vozidel a jejich druh (nákladní, osobní, jednošopé). Hladiny akustického tlaku jsou měřeny mikrofonom. Následně je stanovena ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{eq} pro měřený povrch. Pro evropské standardy je mikrofون umístěn 7,5 m, dle amerických norem 50 stop, od osy jízdního pruhu a 1,2 m nad povrchem. Data jsou pak počítačově zpracována a výsledkem je Statistical Passby Index (SPBI). Tato hodnota pak bývá použita pro porovnání různých povrchů vozovek.

Detaily mezinárodních standardů metody SPB jsou specifikovány v normě ISO 11819-1, která je kompletně přeložena do češtiny. Tato metoda bývá používána pro obecnější studie povrchů vozovek. Co se týče dalšího použití, hojně je tato metoda využívána pro měření a vyhodnocování dopravní hlučnosti z hlediska dodržování hygienických limitů v zájmu ochrany lidského zdraví.



Obr. 19: Schéma nastavení SPB metody měření hluku [3]

Měření metodou SPB zahrnuje všechny aspekty dopravního hluku, včetně motoru a aerodynamického hluku. Pro měření SPB musí být dopravní proud usměrněn, aby kolem měřicího zařízení projelo pouze jedno vozidlo ve stejném směru. Místo pro usazení mikrofону nutno náležitě vhodně zvolit tak, aby měření nebylo negativně ovlivněno okolním hlukem. Chyba při měření může nastat při nevhodně zvoleném terénu, kdy se může hluk odrážet. V zásadě by měly být hodnoty okolního rušení menší o 10 dB než hluk od měřené dopravy. Příklad účelně zvoleného místa je znázorněn na obrázku 17. [3]



Obr. 20: Příklad vhodně zvoleného místa pro měření metodou SPB [3]

6.2 Metoda CPB (Controlled Pass-by)

Metoda CPB má stejné počáteční nastavení jako metoda SPB. Rozdíl je pouze v tom, že je testována pouze dvojice vozidel (malý a velký) s vybranými pneumatikami (na každé vozidlo dvě sady). Vozidla jsou testována na určitém úseku mimo dopravní proud a jedou kontrolovanou, předem stanovenou rychlostí kolem měřicího zařízení. Měří se maximální hladina hluku, která může být v některých případech negativně zvýšena projetím vozidla blíže k mikrofónu. Ve Spojených státech neexistuje jednotná úprava pro tuto měřicí metodu, ovšem v evropských zemích se vyvíjí standardizace pro EU a také ISO, založená na francouzské národní normě. CPB se používá pro stanovení detailních studií různých druhů povrchů.

Oproti metodě SPB, která by měla trvat přesně jednu hodinu, je výhodou CPB méně časově náročná. Nevýhodou CPB je to, že díky nízké rozmanitosti vozidel (na rozdíl od SPB), může být výsledné hodnocení méně vypovídající. Podmínky pro měření metodou CPB jsou shodné jako pro metodu SPB a je příhodné, aby byla měřena za venkovských podmínek, či na zkušební dráze. [3]

6.2.1 Metoda CB (Coast-by)

Drobnou modifikací CPB je měřicí metoda CB. Rozdíl je v tom, že při CB metodě míjí mikrofon vozidlo s vypnutým motorem. Měří se opět maximální hladina hluku, ze které se dále stanoví hladina hluku pro referenční rychlosti. Tyto rychlosti jsou stejné pro metodu CB a CPB, 80 km/h pro osobní automobily a 70 km/h pro nákladní. [3]

6.3 Metoda CPX (Close Proximity Methods)

Metoda CPX (metoda malé vzdálenosti) byla vyvinuta tak, že se měření soustředí výhradně na hluk z interakce pneumatiky s vozovkou. A tak je nejvíce vhodná pro stanovení akustických charakteristik daného povrchu vozovky. Detaily CPX metody jsou popsány v normě ISO/CD 11819-2. Měřicí zařízení je umístěno na přívěsu za autem, kde je jeden či více mikrofonů umístěn co nejbližší pneumatice. Je vhodné, aby tento přívěs obsahoval kryt, který tyto mikrofony překryje a díky tomu byl omezen aerodynamický hluk a hluk z okolní dopravy, který se od tohoto krytu odráží. Tudíž měření CPX může být provedeno při klasickém provozu na pozemních komunikacích. Pro měření se používají referenční rychlosti např. 50, 80 a 110 km/h a pro tyto hodnoty je zaznamenávána průměrná hladina akustického tlaku. [3]



Obr. 21: Měřicí zařízení na přívěsu za vozidlem [6]

Při měření by měla být použita referenční pneumatika, na kterou jsou kladeny určité požadavky. Je doporučeno, aby nebyla pneumatika zcela nová a měla by být pojížděna minimálně 100 km před prvním měřením. Statické zatížení na pneumatiku by mělo být dle standardů 3200 kN (± 200 kN) a měla by být nahuštěna na hodnotu 170 kPa (± 10 kPa).

Důležitým činitelem při měření CPX metodou je vhodná volba měřeného úseku. V zásadě existují 4 parametry pro správnou volbu :

1. Délka úseku – doporučuje se minimální délka 200 m, pro dosažení referenční rychlosti je také zapotřebí dostatečná rozjezdová vzdálenost, stejně tak by měla být dodržena bezpečná brzdná dráha. Celkový měřený úsek by měl mít délku cca 500 m. Nesmí se zapomenout také na prostor pro otočení vozidla a osazení aparatury
2. Podélný sklon úseku – nemělo by se volit úseků ve stoupání, aby měření nebylo ovlivněno hlukem motoru. Je vhodné zvolit rovinné území
3. Stav vozovky – místo, kde pneumatika je vozovka pojížděna, by mělo být až do vzdálenosti 0,5 m od bočnice kola čisté a suché, také by měl být povrch bez výtluků, nerovností či trhlin, zbaven šterku a nánosů bláta.
4. Intravilán vs. Extravilán – extravilánové komunikace umožňují větší měřicí rychlosti, ovšem nenabízí tolik možností k otáčení vozidla. Intravilánové komunikace zato disponují velkým dopravním zatížením a dobrými podmínkami pro otáčení vozidel. [1][9]

Výhodou měření CPX je fakt, že tato je metoda relativně rychlá. Je také možné hodnoty hluku odečítat přímo v okamžiku měření. Nicméně mírnou nevýhodou je to, že metoda CPX je standardizována pro limitovaný počet pneumatik stejné váhy a velikosti. Tato metoda je založena na terénních měřeních. Terénní měření může být ovšem obtížné pro normované zdroje hluku o nízkých frekvencích. Navíc pro toto měření by měla být přesně stanovena korelace mezi naměřenými hodnotami a cestou hluku mezi postranním měřicím zařízením a pneumatikou. Pro místa s hluk absorbujícími povrchy vozovek, může být tento vliv na měření významný. [3]

Při měření metodou CPX (metoda malé vzdálenosti) může být zařízení pověšeno přímo na vozidle, kdy jsou mikrofony umístěny v normovaných vzdálenostech od referenční pneumatiky. Není také nutnost, aby bylo zařízení na přívěsném vozíku překryto. Může být tak použit jakýkoliv měřicí automobil, ovšem při porovnávání akustických vlastností krytů musí být vždy tyto kryty měřeny za stejných podmínek (automobil, rychlost, pneumatika).

Výstupem metody CPX bývá nejčastěji závislost hladiny hlučnosti na frekvenčních spektrech, či konkrétní stanovení ekvivalentní hladiny hlučnosti při referenčních rychlostech.



Obr. 22: Měřicí zařízení na přívěsu za vozidlem (bez krytu) [16]

6.4 Metoda CPI (Close Proximity Sound Intensity)

Měření intenzity hluku je sofistikovanější metoda měření, než stanovení hladiny akustického tlaku. Intenzita je síla zvuku stanovená na jednotku plochy a je obecně citlivější funkcí, než ekvivalentní hladina akustického tlaku. Navíc díky měření intenzity hluku jsme schopni zjistit zesilující mechanismy hluku v okolí jeho zdroje.



Obr. 23: Zavěšený mikrofon při metodě CPI [3]

Měření metodou CPI je stejné jako CPX. Zařízení měřící intenzitu je zavěšeno velmi blízko pneumatice. Při měření metodou CPI také není nutnost zakrývat měřicí zařízení krytem pro redukci aerodynamického hluku. Měření může být uskutečněno při klasickém dopravním zatížení a při běžných rychlostech. Velkou výhodou je, že studie konkrétního druhu vozovky a jeho stavu může být vytvořena velice rychle. Nevýhodou tohoto měřicího aparátu je, že je mu přizpůsobeno pouze na málo vozidel. [3]

6.5 Laboratorní měření

Laboratorní výzkum pneumatik pro všechny druhy mechanických problémů, včetně trvanlivosti a protismykových vlastností se provádí nejčastěji metodou točících se bubnů (rolling drums). Tyto bubny jsou vyrobeny tak, aby byla k dispozici pro testovací pojezd pneumatiky co nejdelší plocha, díky tomu je dosaženo větší realističnosti výzkumu. Odstředivé síly limitují použití realistických povrchů na točícím se bubnu. Pro simulaci textury povrchu, jsou bubny pokryty replikou povrchu vozovky vyrobeného z epoxidu. Bubny mají poloměr od 1 až do 15 m, a jsou použity pro studie hluku z rozhraní pneumatika/vozovka.



Obr. 24: Laboratorní měření hluku na styku pneumatiky s vozovkou [3]

Výzkum používaných povrchů se tak provádí na testovací zařízení TPTA (Tire/Pavement Test Apparatus). To vyvinuto tak, aby byla možná montáž reálného povrchu na stabilní aparát kruhového typu. Poloměr takového TPTA zařízení se pohybuje kolem 4 metrů. Používá se zatížení až 1000 liber (cca 500 kg) a rychlost maximálně 30 mp/h (cca 50 km/h). [3]

6.6 Hodnocení měření hygienických limitů hluku

Měření dopravní hlučnosti při posuzování, se provádí nejčastěji statickou metodou, kdy je mikrofon umístěn na stativu. Posuzujeme jak venkovní prostor, tak interiéry budov. Ve venkovním prostoru je mikrofon často umístěn do 2 metrů od fasády. Co se týče posouzení hygienických limitů, mají tato měření pevně stanovené podmínky a náležitosti. Abychom mohli posoudit hodnotu, zda je překročen či dodržen hygienický limit, musíme hodnotu korigovat na referenční podmínky. K výsledným naměřeným hodnotám ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{eq} , tedy následně připočítáváme nejistoty „ε“, které vznikají při měření a poté porovnáváme s limitními

hodnotami L_{eqlim} . Nejistota „ ε “ je tedy odhad intervalu hodnot, přiřazený k výsledku měření. Lze tedy tvrdit, že uvnitř tohoto intervalu leží správná hodnota.

Pokud $L_{eq} + \varepsilon \leq L_{lim}$, není překročen hygienický limit

Pokud $L_{eq} - \varepsilon > L_{lim}$, je překročen hygienický limit

Pokud $L_{eq} - \varepsilon \leq L_{lim} < L_{eq} + \varepsilon$, je třeba zopakovat měření, závěr není jednoznačný, tzv. šedá zóna [16]



Obr. 25: Příklad umístění mikrofonu pro posuzování hygienických limitů hluku [16]

6.7 Nejistoty měření

Nejistoty měření závisí na mnoha faktorech. Celková nejistota měření „ ε “ zohledňuje nejistotu danou měřicími přístroji (u_i) a nejistotu danou použitým postupem měření (u_s) kdy tato nejistota vzniká v důsledku vzorkování. Z těchto dvou nejistot získáme nejistotu kombinovanou (u_c).

$$\varepsilon = \sqrt{u_i^2 + u_s^2}$$

Je-li měřený hluk složen z dílčích a navzájem zcela odlišných expozic, určuje se výsledná nejistota z dílčích složek nejistoty. Pokud nelze z nějakého důvodu dílčí složky určit, určí se nejistota kvalifikovaným odhadem.

Při použití lineárně integrujících přístrojů je dána nejistota tabulkou 4 (měří se po celou dobu expozice, nebo tabulkou 5 (měření pokrývá jen část doby expozice - specifické časové intervaly, které obsahují specifické hluky). [17]

1 Zvukoměr v souladu s ČSN IEC 651	Třída 1	Třída 2	Třída 3
2 Integrovaný-průměrovací zvukoměr v souladu s ČSN EN 60804	Třída 1	Třída 2	Třída 3
3 Akustický kalibrátor v souladu s ČSN EN 60942	Třída 0 nebo Třída 1	Třída 1	Třída 2
4 Nejistota u_i	0,7 dB	1 dB	1,5 dB

Tab. 4: Nejistota u_i daná měřicími přístroji, pokud se měří po celou dobu expozice [17]

1 Zvukoměr v souladu s ČSN IEC 651	Třída 1	Třída 2	Třída 3
2 Integrovaný-průměrovací zvukoměr v souladu s ČSN EN 60804	Třída 1	Třída 2	Třída 3
3 Akustický kalibrátor v souladu s ČSN EN 60942	Třída 0 nebo Třída 1	Třída 1	Třída 2
4 Nejistota ε	1,6 dB	3 dB	8 dB

Tab. 5: Nejistota u_i daná měřicími přístroji, pokud se neměří po celou dobu expozice [17]

7. REALIZOVANÁ MĚŘENÍ DOPRAVNÍ HLUČNOSTI

7.1 Měření metodou CPX

7.1.1 Metodika měření

Při měření metodou CPX bylo použito vlastní měřící vozidlo. Mikrofony tak nebyly umístěny na přívěsu za automobilem, ale přímo na automobilu samotném. Konkrétně na zadní nápravě. Je potřeba zmínit, že při všech měření metodou CPX byla použita stejná referenční pneumatika, stejné vozidlo a byly stanoveny stejné referenční rychlosti. Tudiž všechna měření měla stejné podmínky a mohou se tak mezi sebou porovnávat.

Bylo použito dvoukanálové měřící zařízení (2 měřící mikrofony). Dle normy musely být mikrofony umístěny:

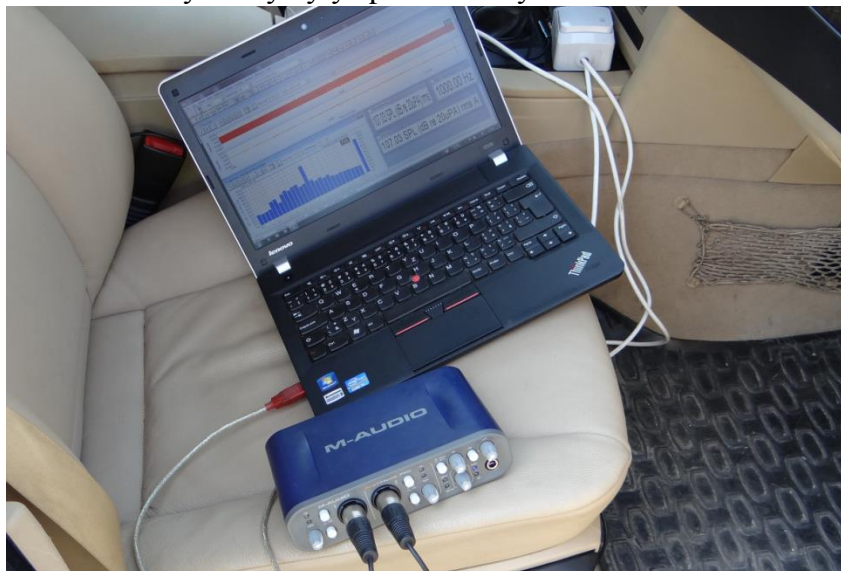
- 10 cm nad povrchem vozovky (nutno započítat zatížený automobil)
- 20 cm od referenční pneumatiky
- 40 cm vzájemně od sebe
- Kolmá osa mikrofونů musí být shodná s osou pneumatiky



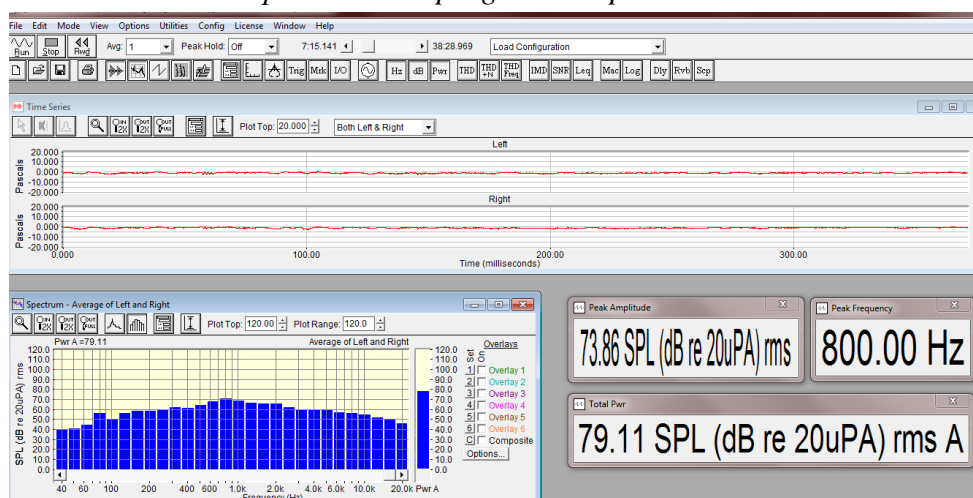
Obr. 26: Fotodokumentace nastavení měřícího aparátu

Vlastní měření probíhalo tak, že po osazení měřicí soustavy bylo nutné kalibrovat měřící zařízení. Referenční hlučnost, na kterou bylo zařízení kalibrováno, byla 110 dB. Byla také nastavena potřebná citlivost zařízení. Důležitou součástí měřicí sestavy byl také vysokofrekvenční zdroj hluku, který byl umístěn v blízkosti mikrofonu (jednotlivými signály o frekvenci 2500 Hz tak bylo snadné od sebe oddělit zkoumané povrchy). Dále bylo potřeba GPS zařízení pro stanovení přesné rychlosti a polohy a hlasový záznamník pro záznam přesného postupu měření. Posádka vozidla se skládala z řidiče, jehož hlavním úkolem bylo dodržovat referenční rychlosti pokud to intenzita dopravy dovozovala a spolujezdce, který obsluhoval měřící aparaturu. Při měření byl používán automobil BMW 530d.

Pro převod analogového signálu na signál digitální, byl použit A/D převodník M-Audio Fast Track Pro (viz Obr. 27). Pro vyhodnocení měření byl použit program SpectraPLUS, kdy výstupem z tohoto programu byl vždy soubor ve formátu *.wav, který byl nadále tímto programem analyzován a vyhodnocován. Výsledky byly zpracovávány v tabulkovém editoru Microsoft Excel.



Obr. 27: Fotodokumentace A/D převodníku s programem SpectraPLUS

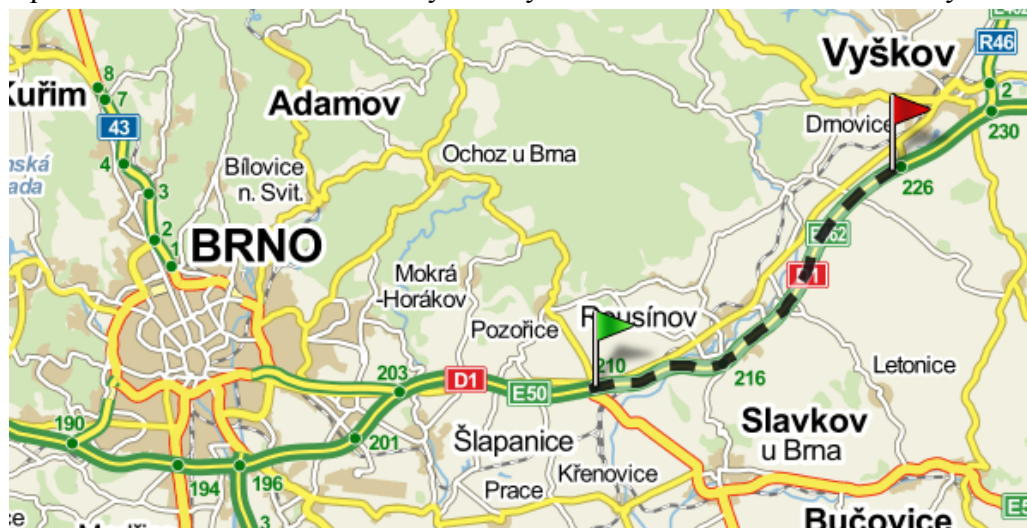


Obr. 28: Pracovní prostředí programu SpectraPLUS (vlevo spektrální analýza)

7.1.2 Měření hlučnosti cementobetonových vozovek

a) Popis měření

V rámci zadání pro měření metodou CPX, dle ISO/CD 11819-2, bylo za úkol porovnat různé povrchy, které byly realizovány při rekonstrukci dálnice D1 v období od září 2012 do prosince roku 2013. Dálnice D1 je nejdůležitější dopravní tepnou ČR a v současné době je již na hranici své životnosti a proto se hledá východisko tohoto problému. Díky intenzitám (nejvytíženější úsek u Brna až 65 tis. voz/den), které se na této důležité dopravní tepně vyskytují, je vhodné, při opravách použít opět cementobetonový kryt. Byly zde položeny úseky cementobetonového krytu upraveného pomocí vlečené juty (3 úseky, rok 2012) a také tzv. vymývaný beton (2 úseky, rok 2013), který je hojně využíván na německých a rakouských dálnicích. Výsledky měření budou porovnávány s asfaltovým krytem mastixovým který je v tomto úseku realizován a také s nízkohlučným mastixovým povrchem SMA LA realizovaným na rychlostní silnici R46 nedaleko Vyškova.



Obr. 29: Znárodnění měřeného úseku [18]



Obr. 30: Podélný profil měřeného úseku [18]

Sčítání dopravy 2010 – hodnoty RPD [voz/24h]	
Sčítací úsek č.	6-8820
Komunikace č.	D1
TV (těžká motorová vozidla celkem)	8 455
O (osobní a dodávková vozidla)	28 970
M (jednostopá motorová vozidla)	105
SV (součet všech vozidel)	37 530

Tab. 6: Dopravní intenzity dle sčítání z roku 2010 [21]



Obr. 31: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (pracovní spára vlečená juta / SMA11)



Obr. 32: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (vymývaný beton METROSTAV)



Obr. 33: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (nehomogenity vymývaného betonu)



Obr. 34: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (pracovní spára etapizace výstavby)



Obr. 35: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (negativní textura stávajícího CB krytu)

b) Podmínky měření

Vlastní měření úseků, kde byly cementobetonové vozovky položeny, probíhalo mezi kilometrem 210,000 a kilometrem 226,000 dálnice D1 nedaleko Brna v jízdním pásu směrem na Vyškov a Ostravu. Měření proběhlo 12. prosince 2013 při teplotách kolem 6-8 °C a suché vozovce. Začátek měření v 10:00. Hustota dopravy v této době standardní pro dálnici D1 (37 530 voz/den pro tento úsek).

c) Měřicí pomůcky

Měřicí mikrofony - pro záznam zvuku rozhraní pneumatika/vozovka

Hlasový záznamník - záznam hlasu pro detailní popis aktuálního postupu měření

A/D převodník M-Audio - převod signálu z mikrofónů do počítače

GPS zařízení - pro zjištění přesné rychlosti

Software SpectraPLUS

Referenční pneumatika nahuštěná na požadovaný tlak



Obr. 36: Detail na dezén referenční pneumatiky

d) Výsledky měření

Pomocí analýz zvukových záznamů v programu SpectraPLUS došlo k vyhodnocení měření. Při vyhodnocování je možnost použít tři druhů závislostí. Nejčastěji se používá závislost ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_{eq} na rychlosti „v“. Další možností jak zobrazit výsledky, je závislost „ L_{eq} “ na frekvenci „f“ či závislost „ L_{eq} “ na staničení „s“. V rámci měření, byly použity všechny 3 typy grafů pro porovnávání cementobetonových a mastixových krytů vozovek.

Varianta vyhodnocení L_{eq} [dB] - v [km/h]

Vymývaný beton METROSTAV		Vymývaný beton SKANSKA	
v [km/h]	L_{eq} [dB]	v [km/h]	L_{eq} [dB]
50	97,01	50	96,65
60	99,56	60	100,04
70	102,25	70	102,49
80	104,45	80	104,75
90	106,98	90	107,03
100	108,74	100	108,70
110	110,45	110	110,57
120	111,72	120	112,25

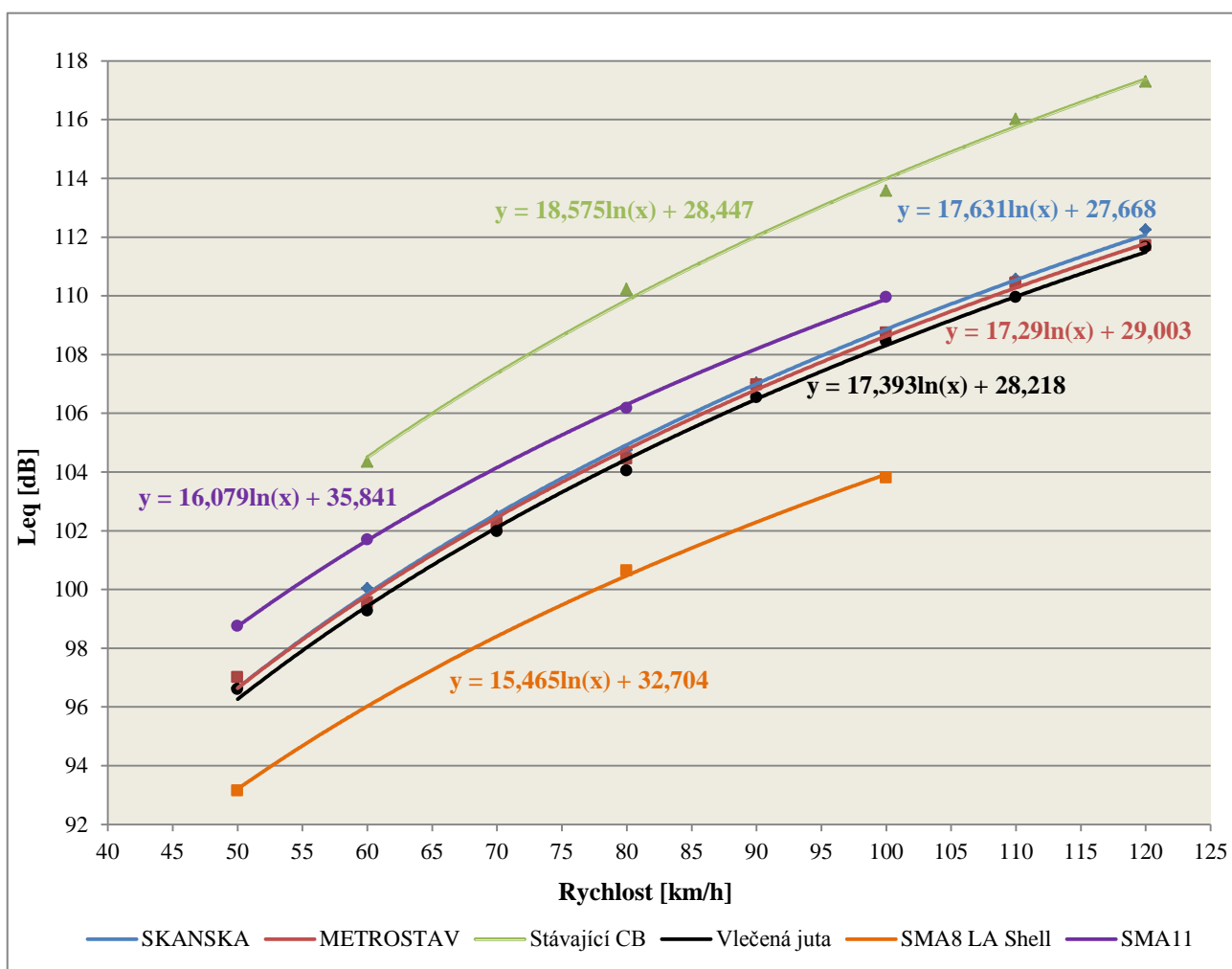
Tab. 7 a 8: Vyhodnocení hlukových emisí vymývaného betonu dvou dodavateli

Vlečená juta		Porovnání Vymývaný beton - Juta	
v [km/h]	L_{eq} [dB]	v [km/h]	L_{eq} [dB]
50	96,60	50	0,05 a 0,41
60	99,28	60	0,28 a 0,76
70	101,98	70	0,21 a 0,51
80	104,05	80	0,40 a 0,70
90	106,54	90	0,44 a 0,49
100	108,45	100	0,25 a 0,29
110	109,95	110	0,50 a 0,62
120	111,66	120	0,05 a 0,59

Tab. 9 a 10: Vyhodnocení hlukových emisí vlečené juty a porovnání dvou technologií

CB kryt stávající		SMA11		SMA8 LA	
v [km/h]	L_{eq} [dB]	v [km/h]	L_{eq} [dB]	v [km/h]	L_{eq} [dB]
60	104,35	50	98,76	50	93,15
80	110,23	60	101,70	80	100,64
100	113,58	80	106,18	100	103,81
110	116,02	100	109,96		
120	117,29				

Tab. 11, 12, a 13: Vyhodnocení hlukových emisí, vlevo a uprostřed dálnice D1, vpravo R46



Graf 4: Srovnání ekvivalentních hladin hluchnosti různých povrchů při referenčních rychlostech

80 km/h	DRUH KRYTU				
	SMA8 LA	Vlečená juta	Vymývaný beton	SMA11	CB stávající
ΔL_{eq} [dB]	-5,54	-2,13	-1,58	$\pm 0,00$	+4,05
Porovnání intenzit	-72%	-39%	-30%	$\pm 0\%$	+61%

Tab. 14: Číselné porovnání hladin hluchnosti L_{eq} při referenční rychlosti 80 km/h

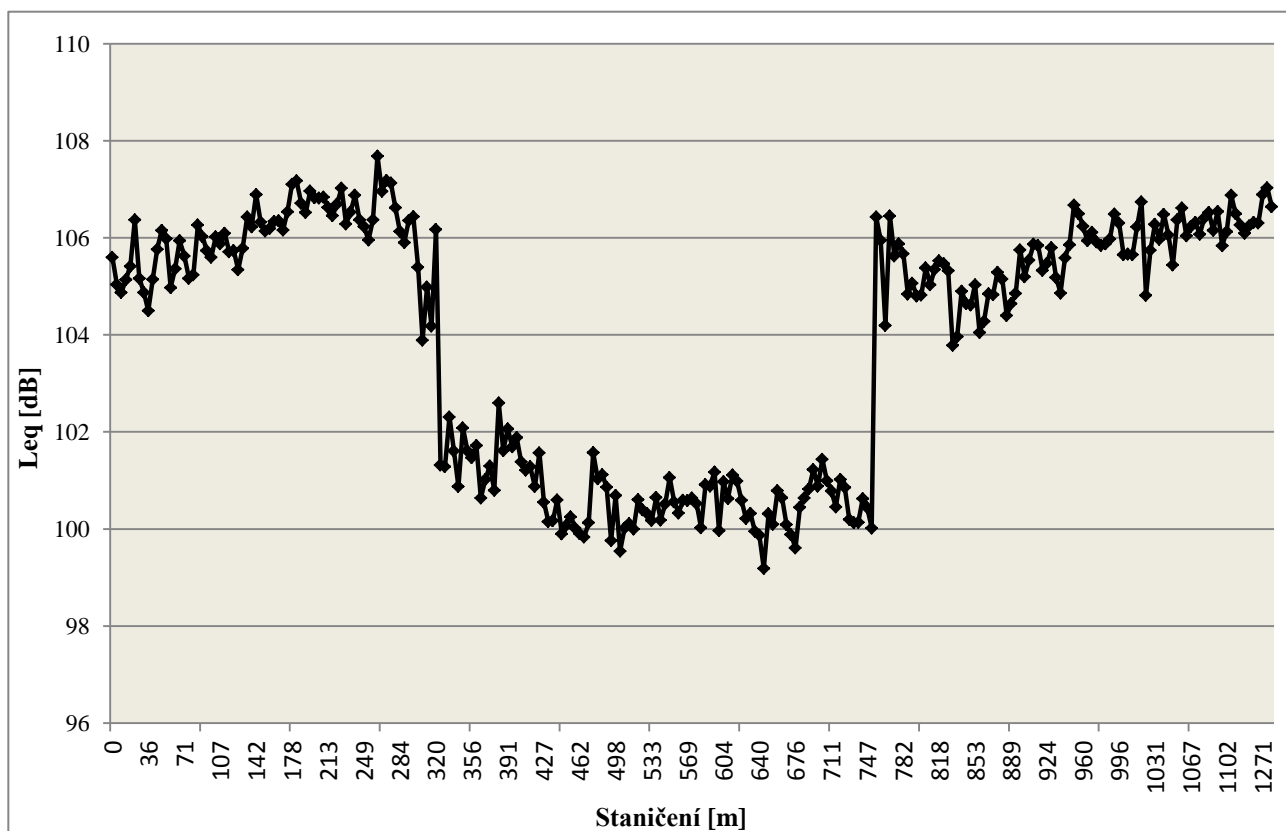
100 km/h	DRUH KRYTU				
	SMA8 LA	Vlečená juta	Vymývaný beton	SMA11	CB stávající
ΔL_{eq} [dB]	-6,15	-1,51	-1,22	$\pm 0,00$	+3,62
Porovnání intenzit	-76%	-29%	-24%	$\pm 0\%$	+57%

Tab. 15: Číselné porovnání hladin hluchnosti L_{eq} při referenční rychlosti 100 km/h

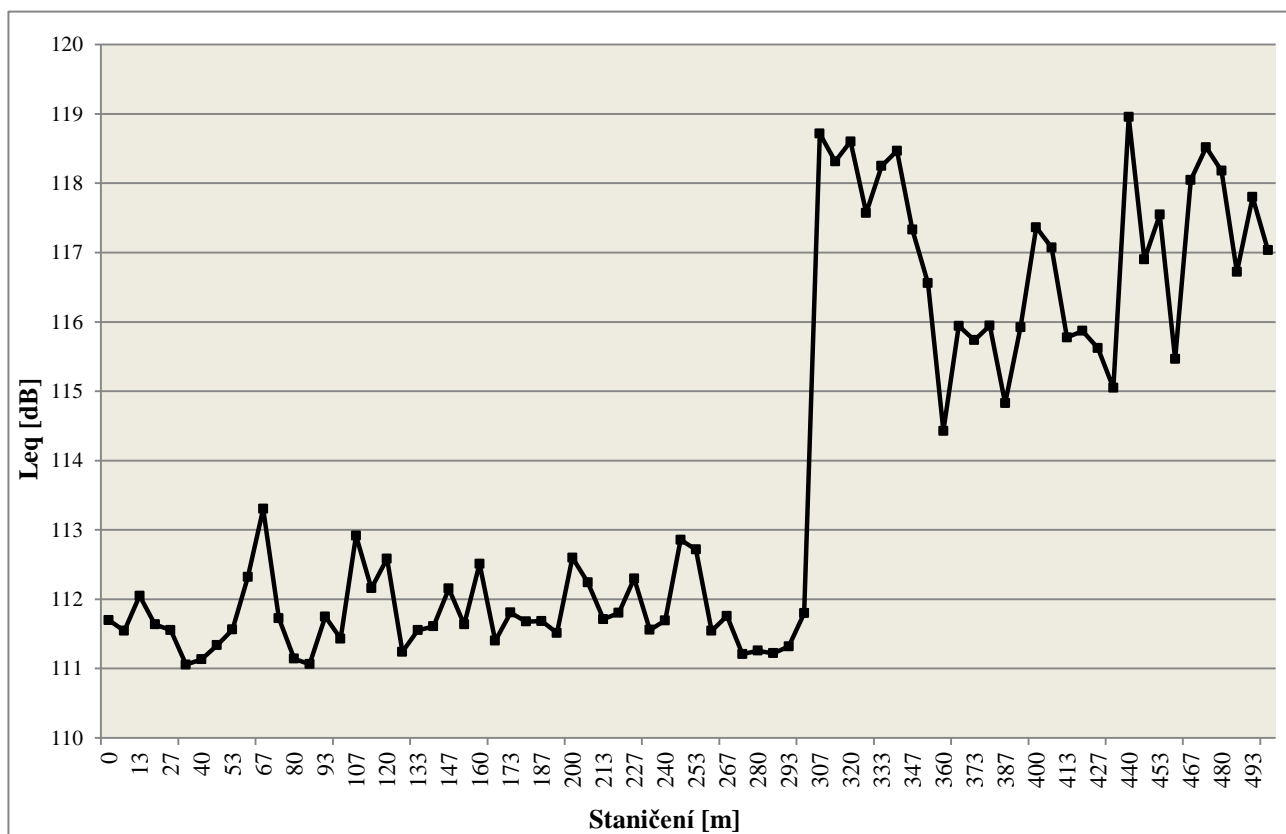
120 km/h	DRUH KRYTU				
	SMA8 LA	Vlečená juta	Vymývaný beton	SMA11	CB stávající
ΔL_{eq} [dB]	-6,06	-1,42	-1,01	$\pm 0,00$	+4,21
Porovnání intenzit	-75%	-28%	-21%	$\pm 0\%$	+62%

Tab. 16: Číselné porovnání hladin hluchnosti L_{eq} při referenční rychlosti 120 km/h

Varianta vyhodnocení $Leq[dB]$ - s [m]

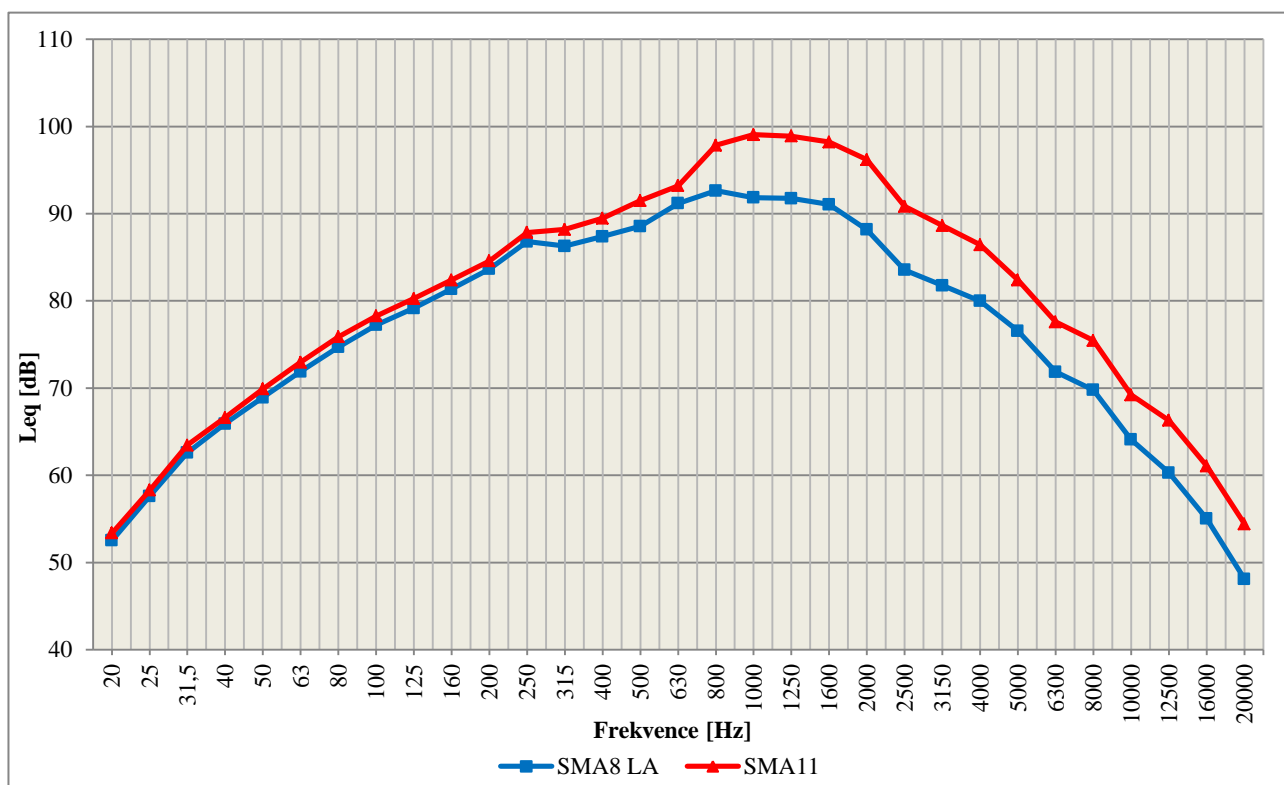


Graf 5: Průběh Leq při přejezdu pracovní spáry, $v=80$ km/h (SMA11 / SMA8LA / SMA11)

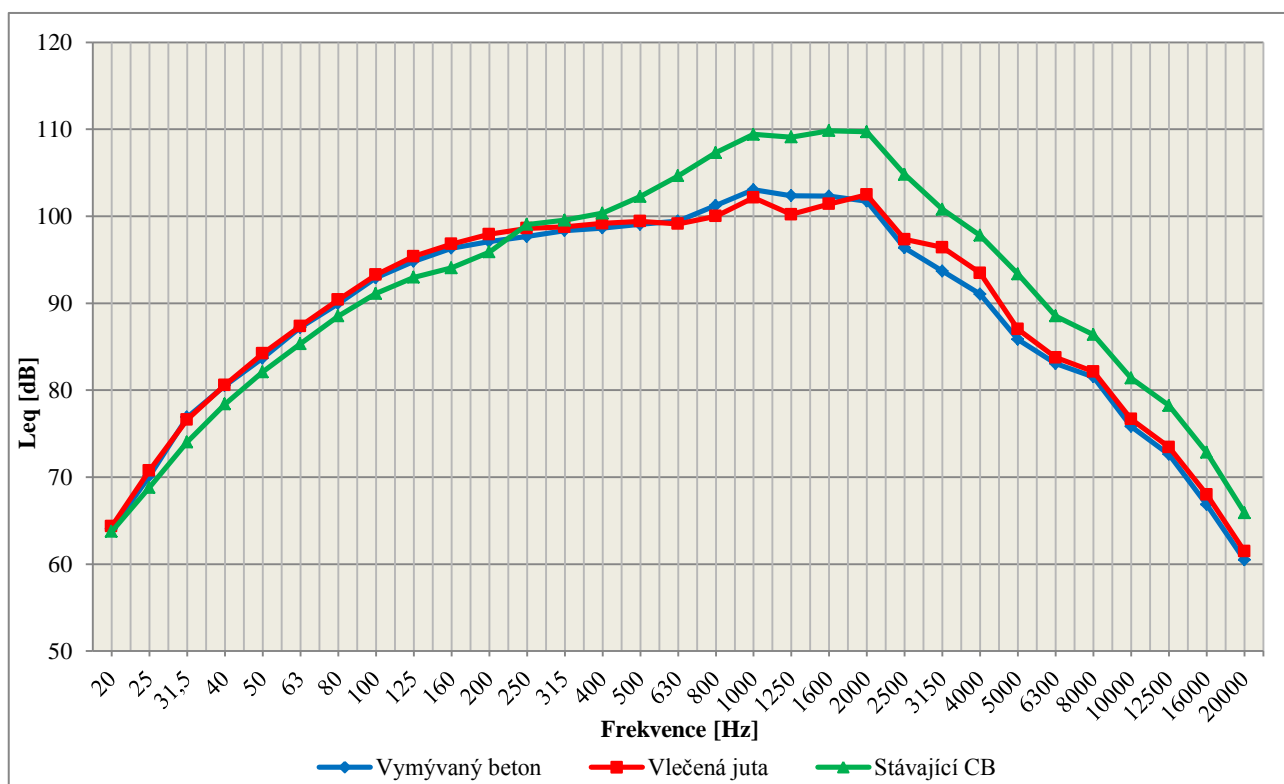


Graf 6: Průběh Leq při přejezdu pracovní spáry, $v=120$ km/h (Vymývaný beton / Stávající CB)

Varianta vyhodnocení $Leq[dB]$ - $f[Hz]$



Graf 7: Porovnání průměrných 1/3 oktávových spekter, referenční rychlost 80 km/h



Graf 8: Porovnání průměrných 1/3 oktávových spekter, referenční rychlost 120 km/h

1000 Hz	SMA8 LA	SMA11
Leq [dB]	91,84	99,06

Tab. 17: Porovnání hlučností mastixových krytů v zájmové oblasti 1000 Hz

1000 Hz	Vlečená juta	Vymývaný beton	Stávající CB
Leq [dB]	102,53	103,03	109,42

Tab. 18: Porovnání hlučností cementobetonových v zájmové oblasti 1000 Hz

e) Závěr

Závěrem lze konstatovat, že se prvotní předpoklady o snížení hlučnosti na dálnici D1 vyplnily. Oba nové povrchy prokázaly lepší akustické vlastnosti v porovnání se stávajícím cementobetonovým krytem a dokonce i v porovnání s asfaltovým betonem mastixovým SMA11. Nicméně naměřené hodnoty dokazují, že se tyto kryty nedají zařadit mezi kryty protihlukové. Vyšší hlukové emise u stávajícího cementobetonového krytu jsou způsobeny velkými deformacemi desek, zejména vertikálními posuny. Díky tomuto faktu má na vyšší emise velký vliv náraz dezénového bloku do takto porušené desky.

Nejlepších výsledků na měřených čtyřpruhových silnicích dosáhl mastixový koberec SMA8 LA. Tento kryt tak můžeme zařadit mezi protihlukové a nejen že je provoz na těchto krytech tišší, ale kryt svou strukturou dokáže také povrch pohlcovat. V současné době jsou nízkohlučné kryty budovány hlavně ve městech - BBTM, PA. Tyto kryty však nebyly doposud na dálnici použity. Hodnoty emisí hluku u nízkohlučného koberce SMA8 LA jasně dokazují, že je možné hluk snižovat i na extravilánových, vysoce zatížených komunikacích.

Při vyhodnocení prvního typu lze dojít k zajímavým závěrům. Např. při porovnání dvou mastixových koberců SMA11 a SMA8 LA došlo při rychlosti 80 km/h ke snížení hlučnosti o 5,54 dB, což odpovídá vzhledem k ekvivalentní hladině akustického tlaku, jako by zde byla snížena intenzita dopravy o 72%. Jinými slovy na koberci SMA8 LA jsme naměřili hodnoty, které říkají, že kolem měřicího mikrofону neprojelo 100 aut, ale 28. Při porovnání vymývaného betonu a stávajících cementobetonových desek došlo ke snížení o 1,54 dB. Tato hodnota odpovídá snížení intenzity dopravy o 24%.

Při porovnávání druhého typu vyhodnocení (závislost frekvenčních spekter na ekvivalentní hladině akustického tlaku Leq) můžeme dojít k závěru, že se snižování hluku uplatňuje až od frekvencí 500 resp. 700 Hz. Nás zajímá nejvíce hodnota 1000 Hz, jelikož lidské ucho je na hlučnost o této frekvenci nejcitlivější. Při porovnávání dvou mastixových koberců došlo ke snížení hlučnosti o 7,22 dB. Při porovnávání cementobetonových krytů vozovek dochází ke snížení hlučnosti o 6,89

dB při porovnávání stávajícího CBK a CBK upraveného vlečenou jutou, resp. o 6,38 dB při porovnávání stávajícího CBK a vymývaného CBK

7.1.3 Měření hlučnosti vodorovného značení

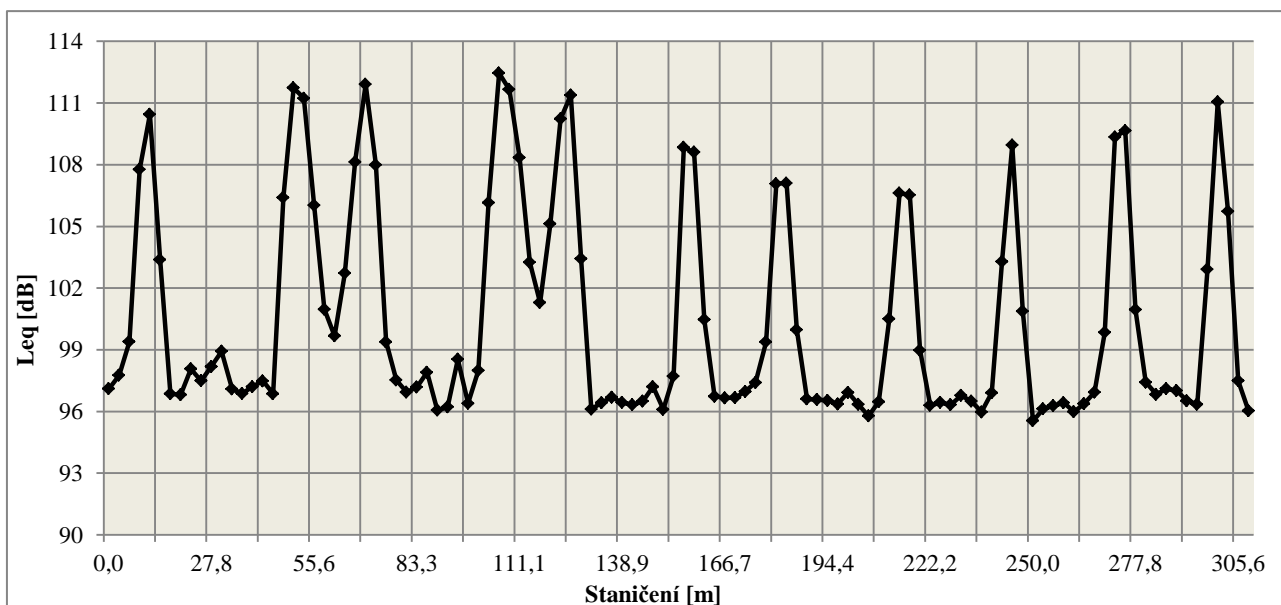
a) Popis měření

Měření akustických vlastností vodorovného dopravního značení probíhalo v rámci měření cementobetonových krytů a to ve stejném úseku mezi km 216,000 a km 210,000 ve směru na Brno. Reliéfní vodorovné dopravní značení je zde realizováno na novém vymývaném CB krytu firmy SKANSKA a výsledky měření tak byly porovnávány vzhledem k tomuto povrchu.

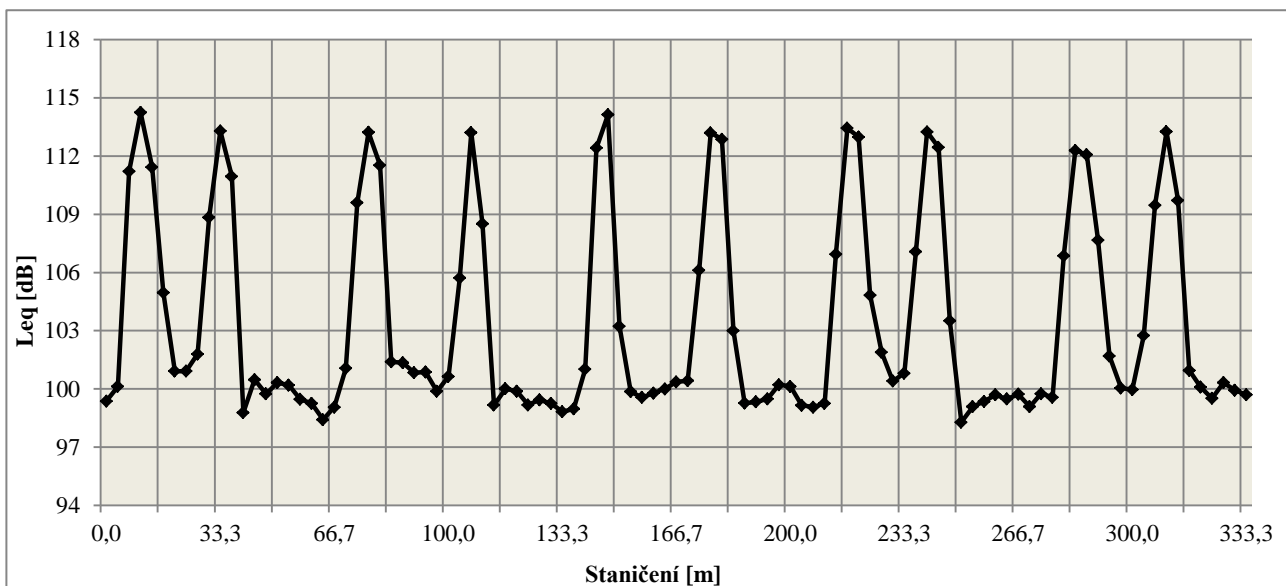
Vodorovné dopravní značení se vyrábí z materiálů na bázi termoplastů a je důležitou součástí každé pozemní komunikace. VDZ rozděluje silnici na jednotlivé jízdní pruhy a odděluje pojížděnou část komunikace od zpevněné krajnice. VDZ nachází také velké uplatnění v dopravním stavitelství, při snaze zamezit mikrospánku řidiče. Při pojíždění drsné a profilované VDZ, vzniká na tomto styku a mnoho větší hlukové emise než při pojíždění vozovky a tento fakt má za účel probudit řidiče. Je tedy důležité tyto akustické vlastnosti sledovat a eventuálně porovnávat.

Podmínky měření, měřicí pomůcky a celkové měřicí nastavení bylo shodné, jako nastavení pro měření cementobetonových krytů. Referenční rychlosti byly stanoveny na 50, 60, 70 a 90 km/h. Vyšší rychlosti nemohly být použity, jelikož při hlučnosti nad 120 dB, docházelo k přetížení měřícího zařízení a tudíž k nepřesnému měření.

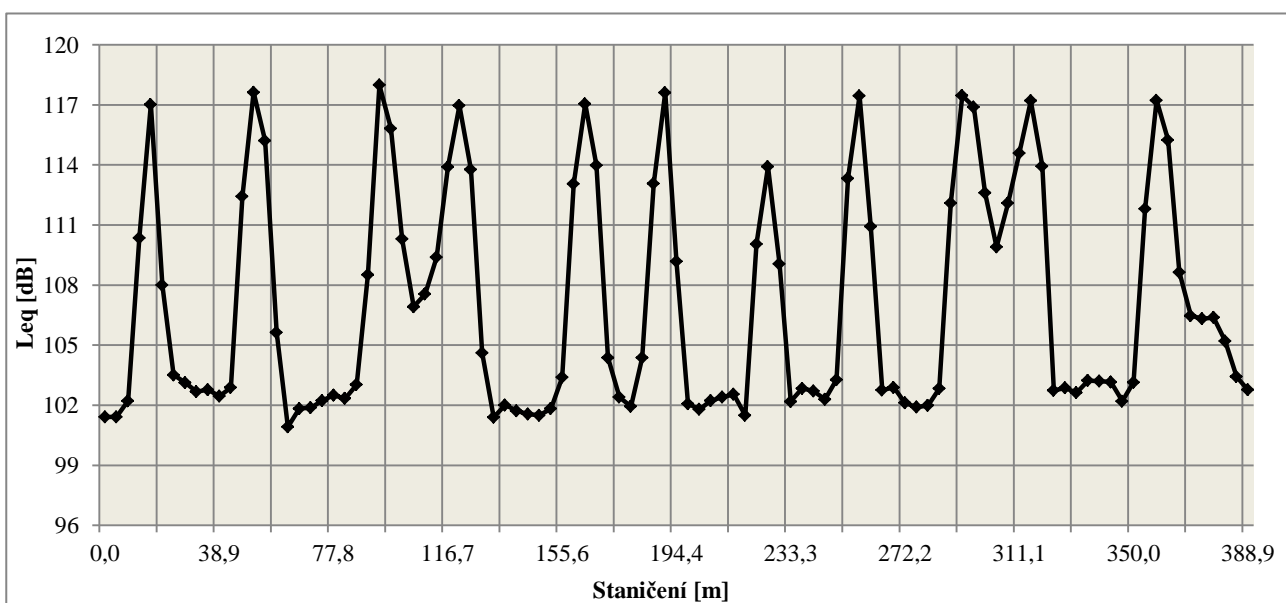
b) Naměřené výsledky



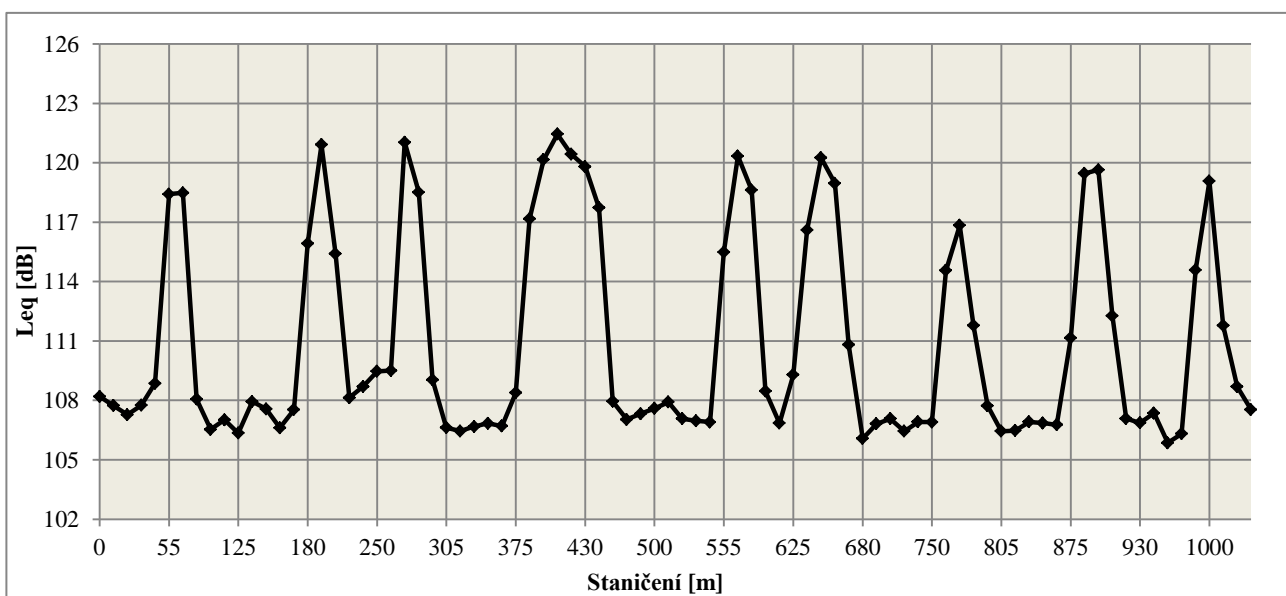
Graf 9: Průběh Leq v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (50 km/h)



Graf 10: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (60 km/h)



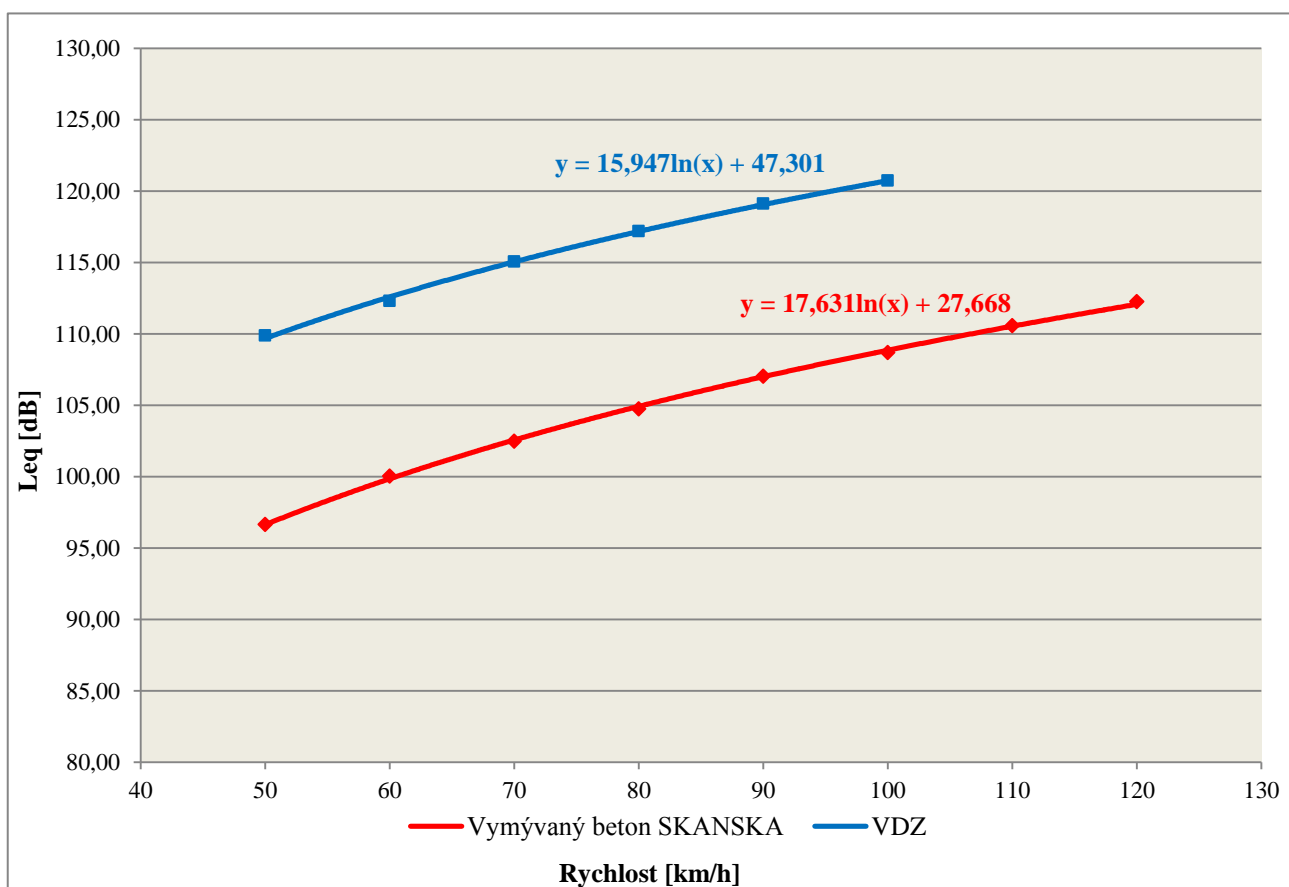
Graf 11: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (60 km/h)



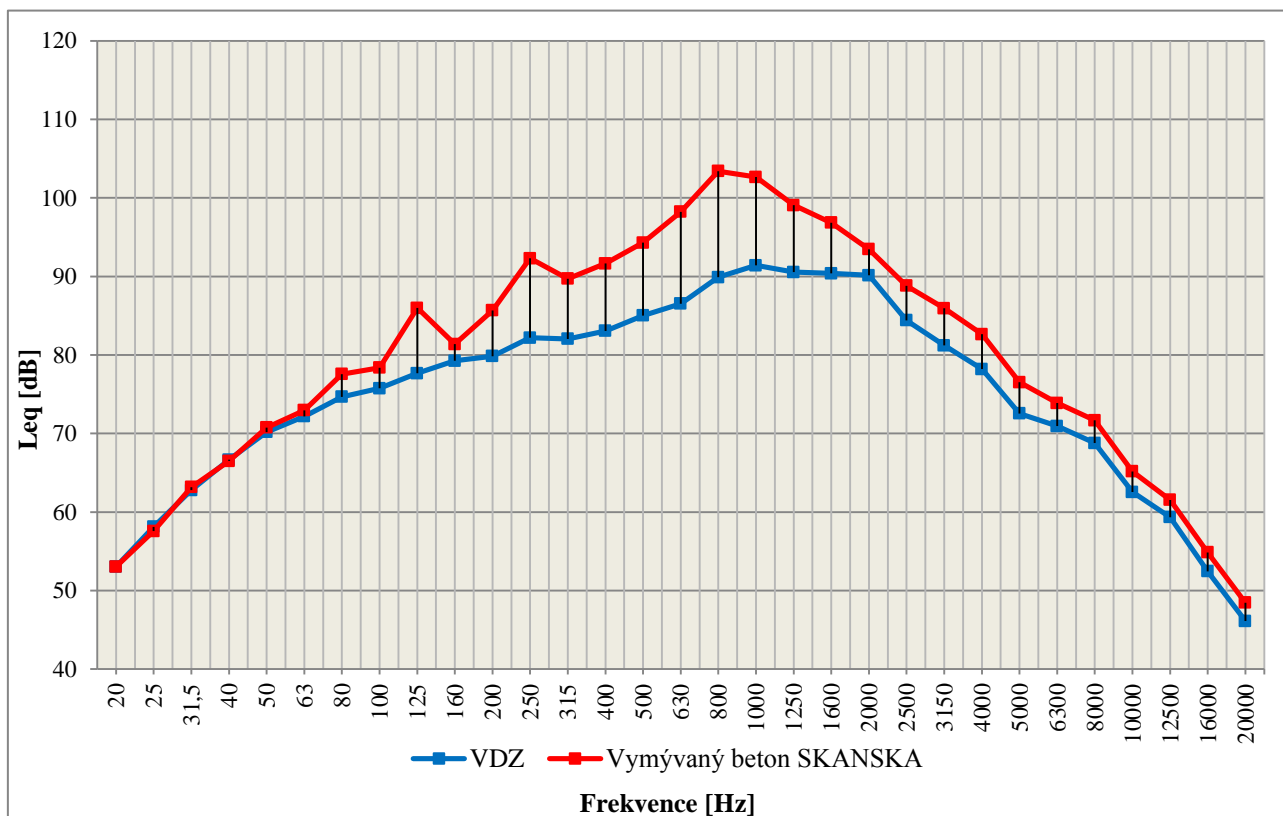
Graf 12: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (70 km/h)

Vymývaný beton SKANSKA		VDZ		Rozdíl VDZ - CB	
v [km/h]	Leq [dB]	v [km/h]	Leq [dB]	v [km/h]	Leq [dB]
50	96,65	50	109,88	50	13,23
60	100,04	60	112,29	60	12,25
70	102,49	70	115,07	70	12,58
80	104,75	80	117,2	80	12,45
90	107,03	90	119,12	90	12,09
100	108,70	100	120,74	100	10,17
110	110,57				
120	112,25				

Tab. 19, 20 a 21: Porovnání hlučnosti vymývaného betonu a hlučnosti VDZ



Graf 13: Srovnání ekvivalentních hladin hlučnosti VDZ a betonu při referenčních rychlostech



Graf 14: Porovnání průměrných 1/3 oktávových spekter VDZ a betonu, referenční rychlost 50 km/h

c) Závěr

Z výsledků měření vyplývá, že profilované vodorovné dopravní značení má významný vliv na tvorbu hluku na styku pneumatika/vozovka. Zvýšení hlučnosti se pohybuje mezi 12 až 13 dB, v závislosti na rychlosti. Lze tedy tvrdit, že nárůst hlučnosti při zvyšování rychlosti je konstantní. Pouze při rychlosti 120 km/h, bylo zvýšení hlučnosti VDZ pouze 10,17 dB. Toto měření však bylo zatíženo chybou, jelikož hodnoty hlučnosti přesahovaly 120 dB a zařízení tak bylo přetíženo. Vznikla tak možnost nepřesného měření.

Při porovnávání frekvenčních spekter pro referenční rychlost 50 km/h, byl naměřen rozdíl v hlučnosti při kritické hodnotě 1000 Hz 12 dB.

7.2 Měření metodou SPB

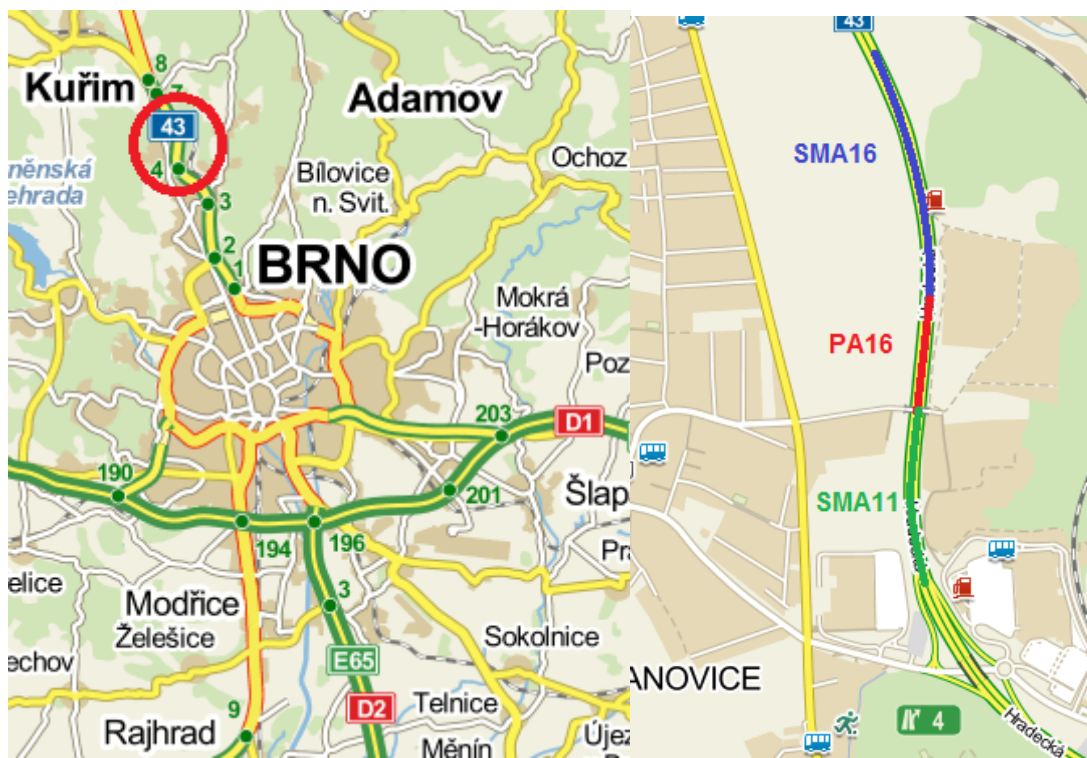
7.2.1 Měření povrchů, ul. Hradecká

a) Popis měření

V rámci měření metodou SPB dle ČSN 11819-1, bylo za úkol porovnat akustické vlastnosti tří povrchů. Byl vybrán úsek na rychlostní komunikaci I/43 v Brně na ulici Hradecká nedaleko nákupního centra Globus. Na tomto předmětném úseku, jsou realizovány vrstvy SMA16, PA16 a SMA11. V jednom časovém intervalu byly měřeny všechny úseky, proto bylo potřeba použít tříkanálové měřicí zařízení. Cílem tohoto měření, bylo zjištění akustického stavu protihlukového

krytu PA16, zda plní po dlouhém období ještě funkci protihlukového krytu (PA16 realizováno v roce 2003). Kryt PA16 je v současné době bez výraznějších poruch.

R43 je čtyřpruhová, směrově rozdělená komunikace, která je silně dopravně zatížena, jelikož se jedná o důležitou spojnici severu jihomoravského kraje popř. kraje pardubického s Brnem a dálnicí D1. Dovolená rychlost je zde 130 km/h.

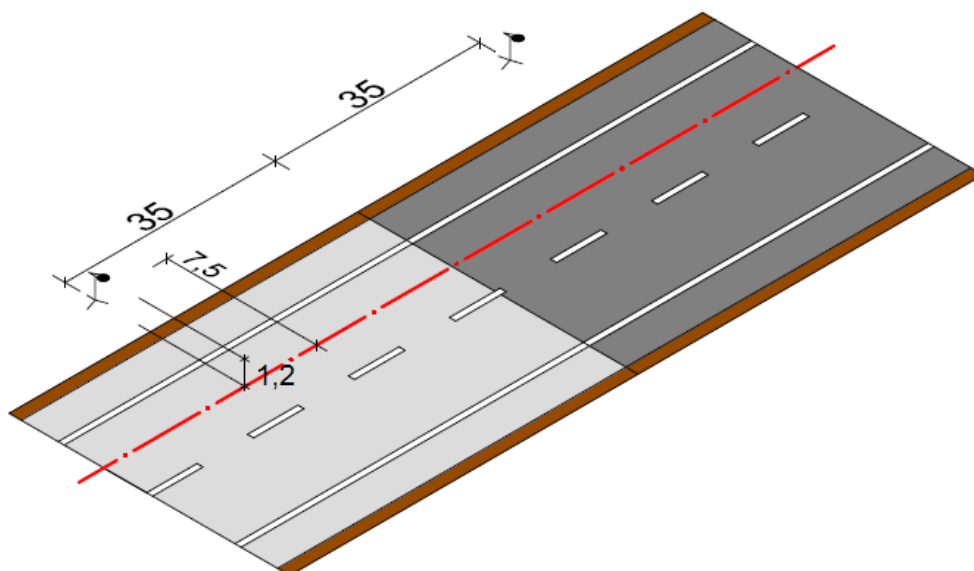


Obr. 37: Znárodnění měřeného úseku [18]

Sčítání dopravy 2010 – hodnoty RPDl [voz/24h]	
Sčítací úsek č.	6-0356
Komunikace č.	43
TV (těžká motorová vozidla celkem)	4 304
O (osobní a dodávková vozidla)	27 662
M (jednostopá motorová vozidla)	133
SV (součet všech vozidel)	32 099

Tab. 22: Dopravní intenzity dle sčítání z roku 2010 [21]

Vzhledem k tomu, že norma ukládá za povinnost mít mikrofony, které měří jednotlivé povrchy vzdálené minimálně 35 m od pracovní spáry (aby se hluknost povrchů navzájem neovlivňovala), bylo měření náročné na výběr místa a také na kabeláž měřicího zařízení. Pro stanovení intenzit dopravy, bylo také použito radarové zařízení, které bylo umístěno v blízkosti komunikace, na svislém dopravním značení.



Obr. 38: Schéma nastavení měřicí metody SPB [1]

b) Podmínky měření

Měření, kde jsou zájmové úseky realizovány, probíhalo v úseku mezi km 7,000 a kilometrem 4,000 rychlostní silnice R43 při vjezdu do Brna v jízdním pásu směrem do centra. Měření proběhlo 1. listopadu 2013 mezi 9 až 11 hodinou při teplotě 13°C. Vozovka suchá.

c) Měřicí pomůcky

Měřicí mikrofony - tříkanálové měřicí zařízení

A/D převodník

Radar - pro stanovení intenzit dopravy

Software pro vyhodnocení

d) Výsledky měření

Měření probíhalo 2 hodiny, zpracování po 15 minutových intervalech (8 intervalů)

Interval 8:55-9:10

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	L _{eq} [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,30	7	251	15	33
PA16	80,21				
SMA11	80,27				
		Rychlost [km/h]			
		120,57	96,71	87,60	86,82
Σ		306 vozidel			
v		95,75 km/h			

Tab. 23: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 8:55-9:10

Interval 9:10-9:25

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,23	7	275	13	29
PA16	80,34				
SMA11	79,90				
		Rychlost [km/h]			
		112,57	97,28	95,00	94,17
Σ		324 vozidel			
v		98,05 km/h			

Tab. 24: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:10-9:25

Interval 9:25-9:40

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,34	7	244	18	49
PA16	80,46				
SMA11	79,94				
		Rychlost [km/h]			
		93,57	97,71	88,28	91,59
Σ		318 vozidel			
v		96,14 km/h			

Tab. 25: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:25-9:40

Interval 9:40-9:55

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Nákladní	Nákladní s přívěsem
SMA16	80,53	5	305	7	41
PA16	80,66				
SMA11	80,09				
		Rychlost [km/h]			
		109,40	97,34	98,43	90,54
Σ		358 vozidel			
v		96,75 km/h			

Tab. 26: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:40-9:55

Interval 9:55-10:10

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,30	4	225	13	48
PA16	80,21				
SMA11	80,27				
		Rychlost [km/h]			
		109,00	95,41	90,08	90,35
Σ		290 vozidel			
v		94,54 km/h			

Tab. 27: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:55-10:05

Interval 10:10-10:25

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,23	9	248	7	41
PA16	80,34				
SMA11	79,90				
		Rychlost [km/h]			
		115,22	99,02	90,57	88,29
Σ		305 vozidel			
v		97,86 km/h			

Tab. 28: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 10:10-10:25

Interval 10:25-10:40

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,34	5	227	16	36
PA16	80,46				
SMA11	79,94				
		Rychlost [km/h]			
		104,20	97,74	89,25	91,69
Σ		284 vozidel			
v		96,58 km/h			

Tab. 29: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 10:25-10:40

Interval 10:40-10:55

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Nákladní	Nákladní s přívěsem
SMA16	80,53	11	217	11	34
PA16	80,66				
SMA11	80,09				
		Rychlost [km/h]			
		110,82	98,92	88,91	88,94
Σ		273 vozidel			
v		97,75 km/h			

Tab. 30: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 10:40-10:55

Interval 8:55-9:55

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Nákladní	Nákladní s přívěsem
SMA16	80,53	26	1075	53	152
PA16	80,66				
SMA11	80,09				
		Rychlost [km/h]			
		109,00	97,51	91,07	90,76
Σ		1306 vozidel			
v		96,69 km/h			

Tab. 31: Celkové vyhodnocení hodinového intervalu 8:55-9:55

Interval 9:55-10:55

OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Nákladní	Nákladní s přívěsem
SMA16	80,53	29	916	47	159
PA16	80,66				
SMA11	80,09				
		Rychlost [km/h]			
		110,79	97,79	89,59	89,82
Σ		1152 vozidel			
v		96,68 km/h			

Tab. 32: Celkové vyhodnocení hodinového intervalu 9:55-10:55

Interval 8:55-10:55

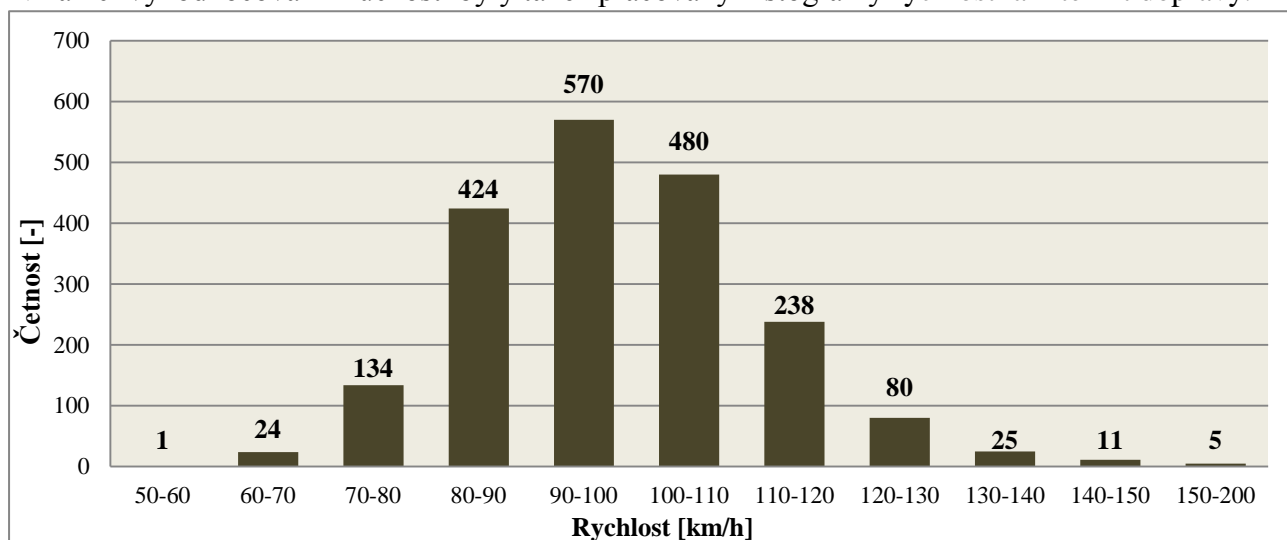
Interval 0,05 - 10,00					
OBRUSNÁ VRSTVA	Hlučnost	Intenzita dopravy [voz]			
	Leq [dB]	Jednostopé	Osobní	Lehké nákladní	Těžké nákladní
SMA16	80,41	55	1992	100	311
PA16	80,50				
SMA11	80,05				
		Rychlost [km/h]			
		109,95	97,64	90,38	90,28
Σ		2458 vozidel			
v		96,69 km/h			

Tab. 33: Celkové vyhodnocení dvouhodinového měření

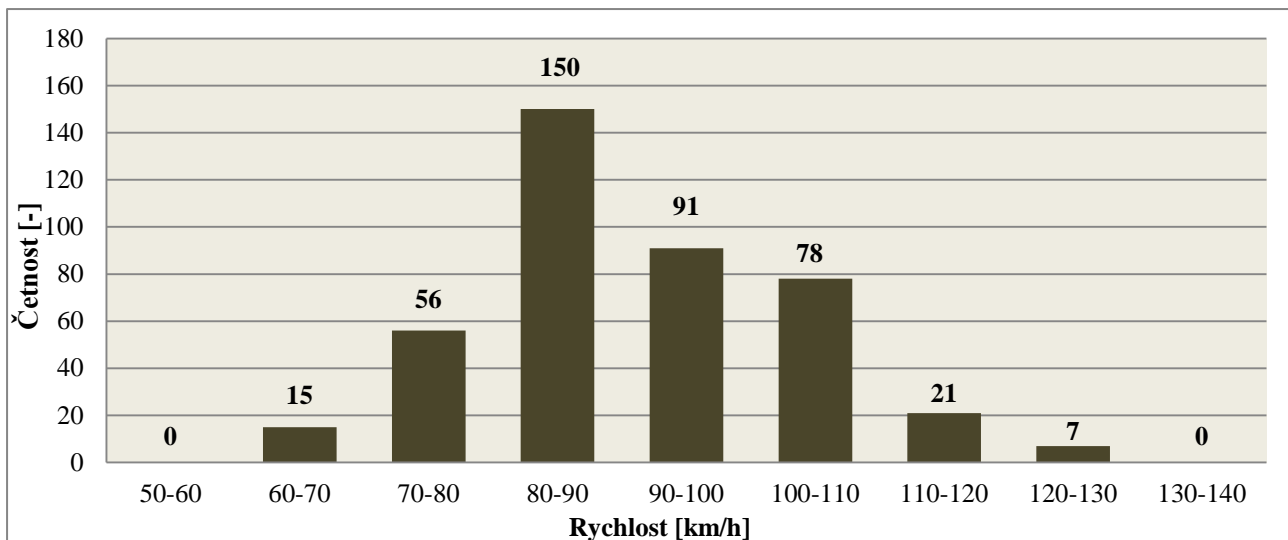
	SMA11	SMA16	PA16
ΔLeq [dB]	-0,45	-0,36	$\pm 0,00$

Tab. 34: Vzájemné porovnání hlučností měřených povrchů z dvouhodinového měření

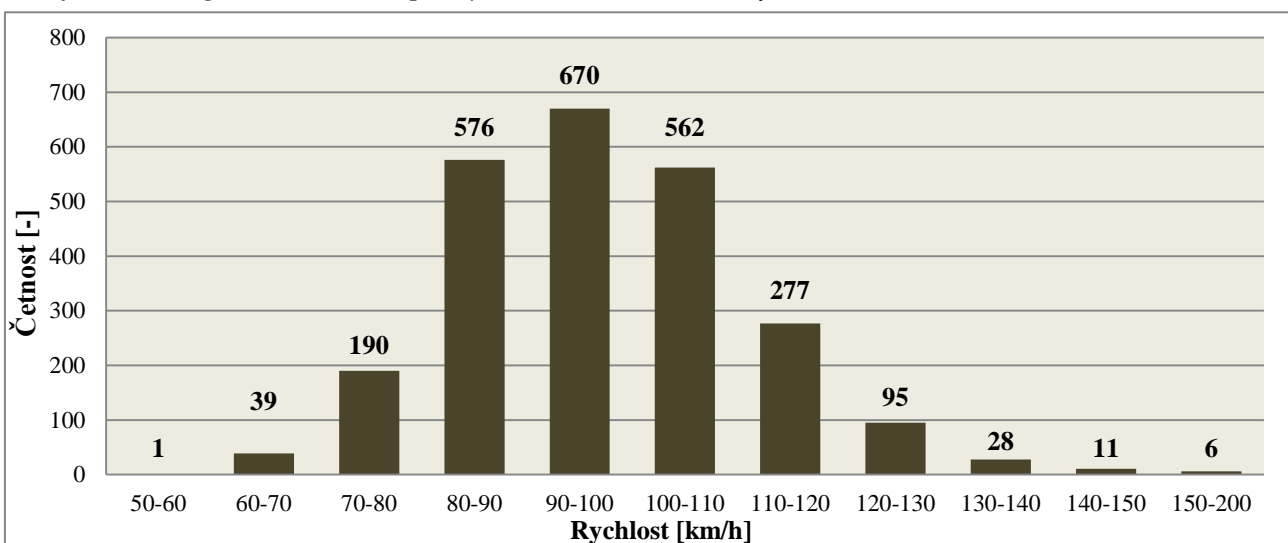
V rámci vyhodnocování hlučností byly také zpracovány histogramy rychlosti a intenzit dopravy:



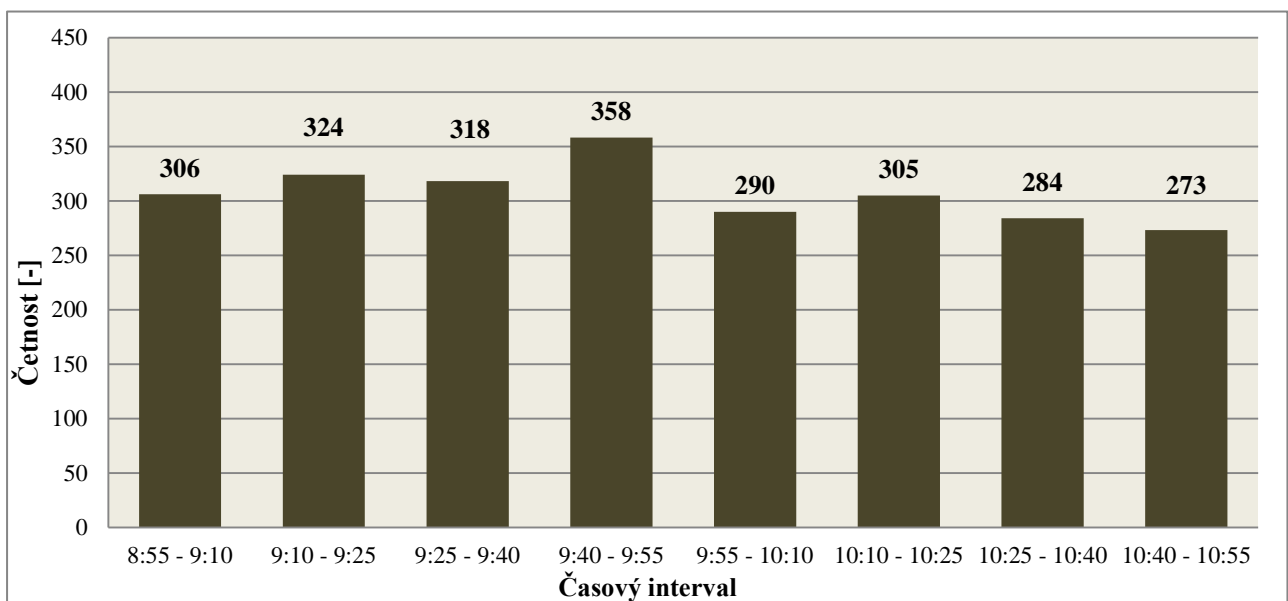
Graf 15: Histogram intenzit dopravy - osobní automobily



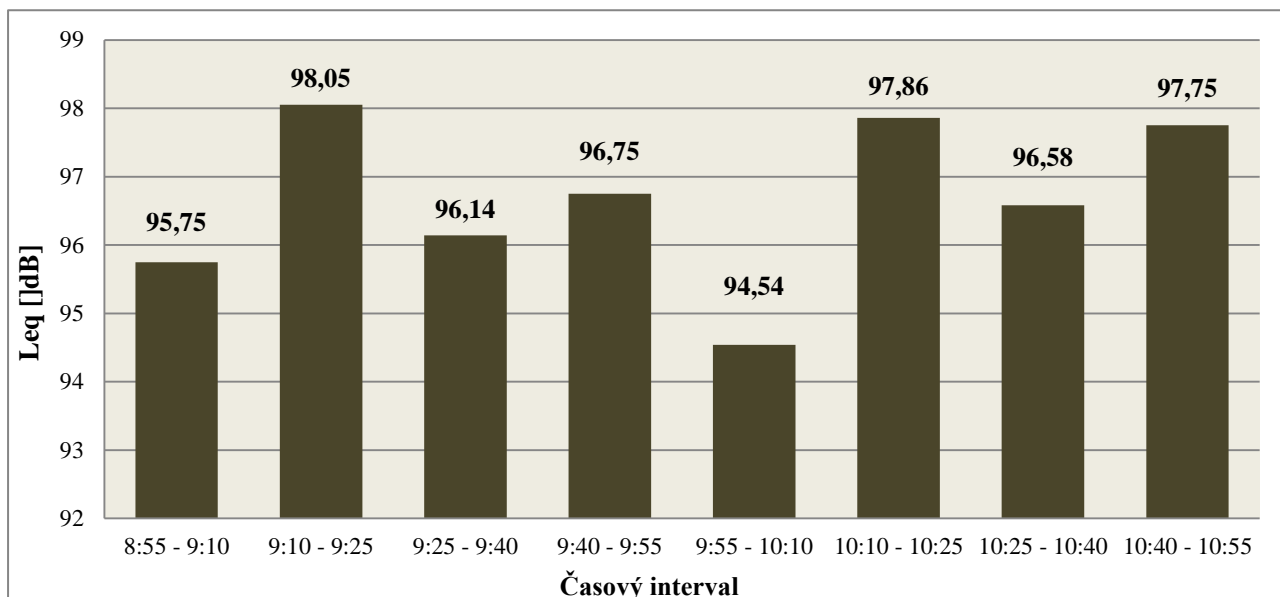
Graf 16: Histogram intenzit dopravy - nákladní automobily



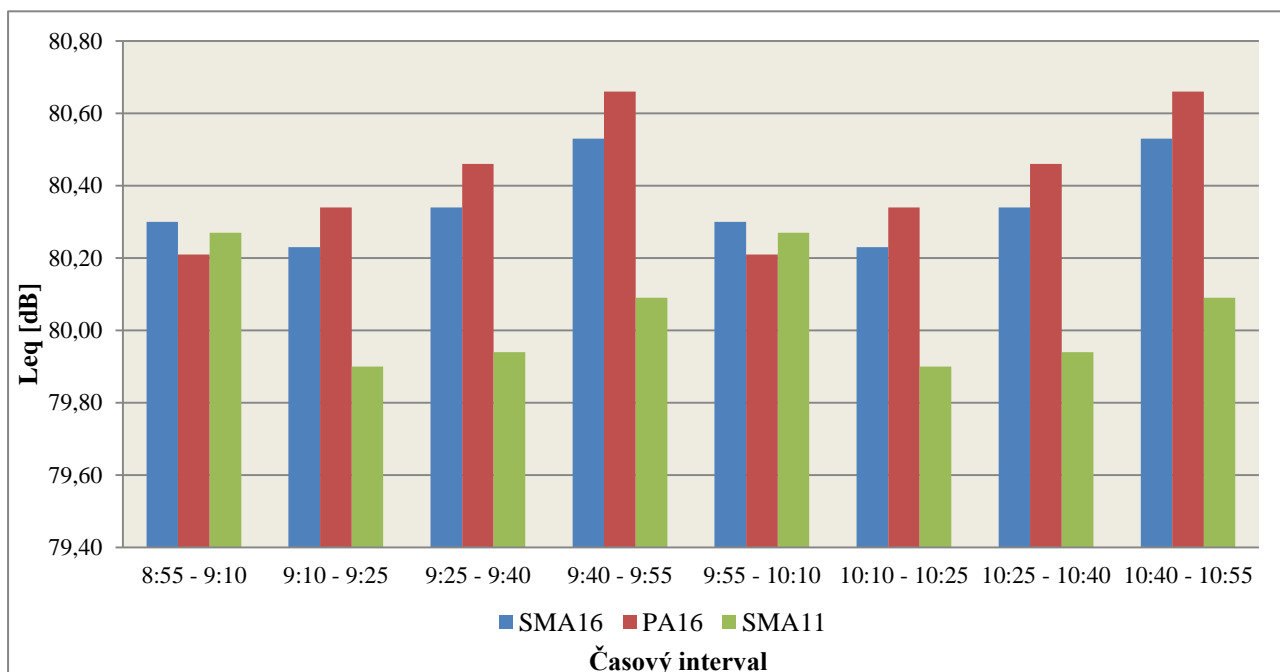
Graf 17: Histogram intenzit dopravy - celkově



Graf 18: Porovnání vývoje intenzit dopravy v patnácti minutových intervalech



Graf 19: Porovnání vývoje celkové hlučnosti dopravy v patnácti minutových intervalech



Graf 20: Porovnání hladin hlučnosti dopravy v patnácti minutových intervalech

e) Závěr

Výsledkem porovnávání hlučnosti povrchu PA16 vzhledem k hlučnostem SMA11 a SMA16 je ten, že povrch PA16 vykazuje vyšší emise než oba porovnávané povrchy. Konkrétní hodnoty jsou +0,36 dB vzhledem k SMA16 a +0,45 dB vzhledem k SMA11. Původní předpoklad byl, že by povrch PA16 díky své otevřené struktuře a vlastnosti pohlcovat hluk měl vykazovat nižší emise v průměru o 3 až 4 dB. Jelikož to tak není, lze prohlásit, že v současné době už povrch PA16 neplní roli protihlukového krytu. Tento fakt je způsoben stářím krytu PA16 a s tím souvisejícím opotřebením krytu. Protože nebyl po celou dobu používání čištěn tlakovou vodou, lze říct, že

póry jsou již zcela ucpány. Hluk tak v případě tohoto krytu není pohlcen, ale odražen dále do okolí. Jelikož jsou si akustické emise všech tří povrchů velmi blízké (rozdíly do 1,1 dB), můžou se označit ve stávajícím stavu na ulici Hradecká jako akustický totožné.



Obr. 39: Fotodokumentace rychlostní silnice R43 (pracovní spára SMA16 / PA16)



Obr. 40: Fotodokumentace rychlostní silnice R43 (detail ucpání pórů PA16)

7.3 Měření pro posouzení hygienických limitů

7.3.1 Městská komunikace Zlín

a) Popis měření

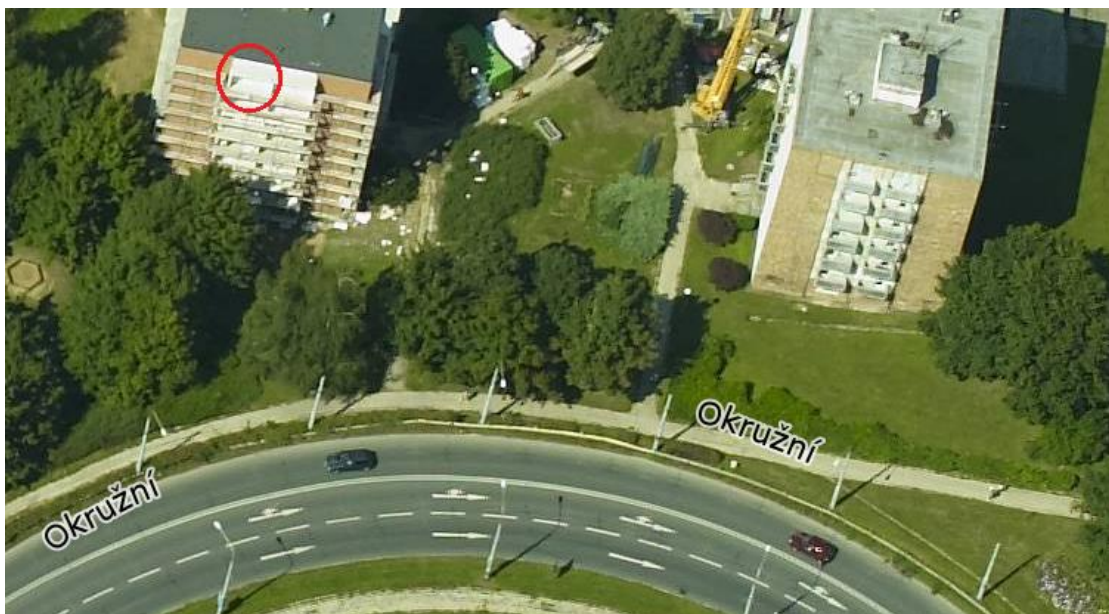
Pro měření byla vybrána místní komunikace ve městě Zlín. Jedná se o silnici III/49018, která je takřka jedinou spojnici největšího zlínského sídliště Jižní Svahy s centrem Zlína. Celkový počet obyvatel tohoto sídliště se pohybuje kolem 25 tisíc, tudíž zatížení dopravou je po celou denní dobu značné, kdy většina obyvatel sídliště míří do centra za studiem či prací (dle sčítání dopravy z roku 2010 19326 voz/den). Zatížení TNV 1896 voz/den (dle sčítání 2010). V okolí silnice je vystaveno množství obytných domů, a proto je hluku z komunikace vystaveno velké množství lidí.

Komunikace je třípruhová, ve směru z centra ve stoupání (viz Obr. 43), měřicí místo je přilehlé k v pravotočivému oblouku o malém poloměru, maximální povolená rychlost je zde 50 km/h. Není zde položen žádný protihlukový kryt ani vybudována protihluková stěna. V blízkosti silnice je velké množství zeleně, které může způsobovat malé snížení hlukových imisí. Je zde realizována obrusná vrstva ACO, bez výraznějších poruch. Rekonstrukce probíhala v roce 2007.

Cílem měření bylo stanovení ekvivalentních hladin hlučnosti pro denní a noční dobu a jejich porovnání se současnými hygienickými limity hluku z dopravy danými v nařízení vlády č. 148/2006 Sb. a pokus o návrh zlepšení hlukové situace v oblasti.



Obr. 41: Znázornění zájmového místa na mapě města Zlín [18]



Obr. 42: Přesná lokace měřícího místa v zájmové oblasti [18]



Obr. 43: Podélný profil posuzované komunikace

Sčítání dopravy 2010 – hodnoty RPDl [voz/24h]	
Sčítací úsek č.	6-2911
Komunikace č.	49018
TV (těžká motorová vozidla celkem)	1 896
O (osobní a dodávková vozidla)	17 250
M (jednostopá motorová vozidla)	180
SV (součet všech vozidel)	19 326

Tab. 35: Dopravní intenzity dle sčítání z roku 2010 [21]

b) Podmínky měření

Měření probíhalo na balkonové lodžii jednoho z bytů přilehlému ke komunikaci. Bylo zde umístěno jak měřící zařízení tak měřící mikrofon. Pro posouzení byla zvolena noční doba (22:00-06:00) a doba denní (06:00-22:00). Měřilo se mezi 8-9. lednem 2014, teplota vzduchu v tuto dobu 0°C v noci a 6°C ve dne. Povrch vozovky by po celou dobu měření suchý.

Měřící mikrofon byl nastaven tak, aby jeho snímač směřoval ke komunikaci.

c) Měřicí pomůcky

Měřicí mikrofon - ATI Audio MiniSPL (rozsah 40-120 dB)

Akustický měřicí přístroj - ATI Audio AL1 Acoustilyzer

Stativ

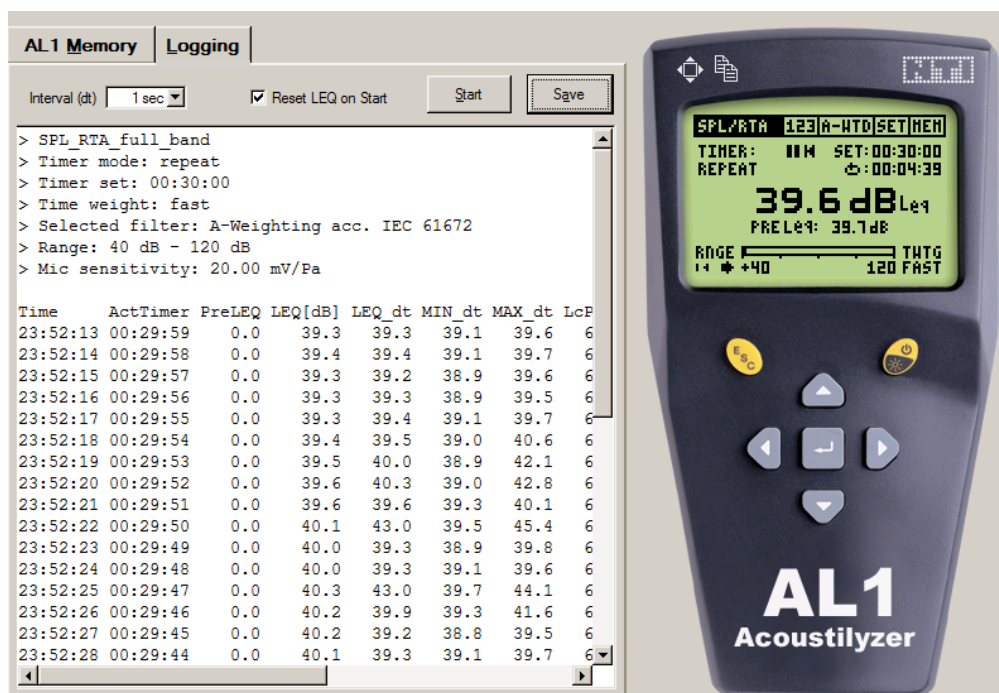
Software MiniLINK



Obr. 44: Fotodokumentace měřicího místa



Obr. 45: Měřicí zařízení AL1 Acoustilyzer a měřicí mikrofon MiniSPL



Obr. 46: Pracovní prostředí programu MiniLINK

d) Výsledky měření

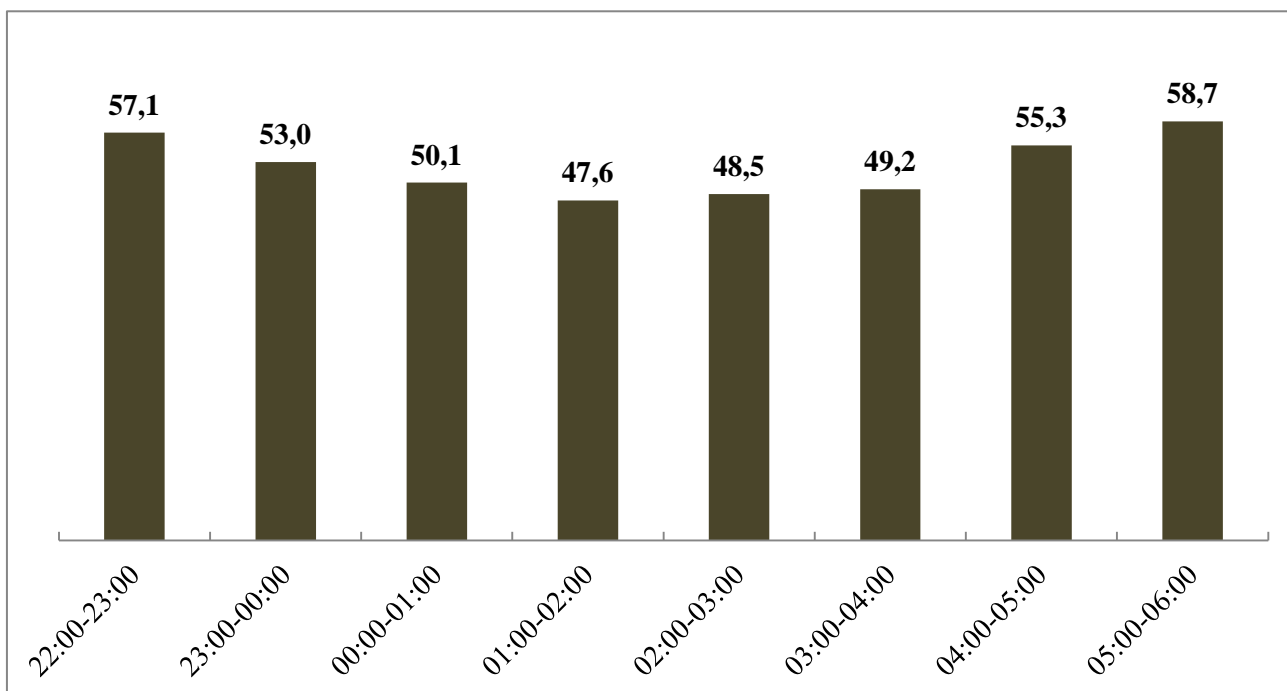
Měřicí nastavení bylo následující - mikrofon byl připevněn na stativu a umístěn 1,2 m od povrchu lodžie, celkově od povrchu země asi 30 m, vodorovná vzdálenosti od osy komunikace 20 m. Úhlopříčná vzdálenost od osy komunikace asi 37 m. Vzdálenost od fasády domu 1,5 m.

Výsledky byly zpracovávány v programu od výrobce zařízení NTI Audio MiniLink a následně vyhodnocovány v programu Microsoft excel.

NOČNÍ DOBA (22:00-06:00) - zvolen interval měření 1 hodina

	Time	PreLEQ	LEQ [dB]	LEQ_dt	MIN_dt	MAX_dt
22:00-23:00	1:00:00	0,0	57,1	-	36,6	78,6
23:00-00:00	2:00:00	57,1	53,0	-4,1	37,0	67,3
00:00-01:00	3:00:00	53,0	50,1	-2,9	37,1	66,0
01:00-02:00	4:00:00	50,1	47,6	-2,5	36,5	68,6
02:00-03:00	5:00:00	47,6	48,5	+0,9	36,6	63,8
03:00-04:00	6:00:00	48,5	49,2	+0,7	36,8	65,9
04:00-05:00	7:00:00	49,2	55,3	+6,1	36,6	74,3
05:00-06:00	8:00:00	55,3	58,7	+3,4	36,6	79,6
22:00 - 06:00			54,2			

Tab. 36: Naměřené hodnoty hluku z dopravy

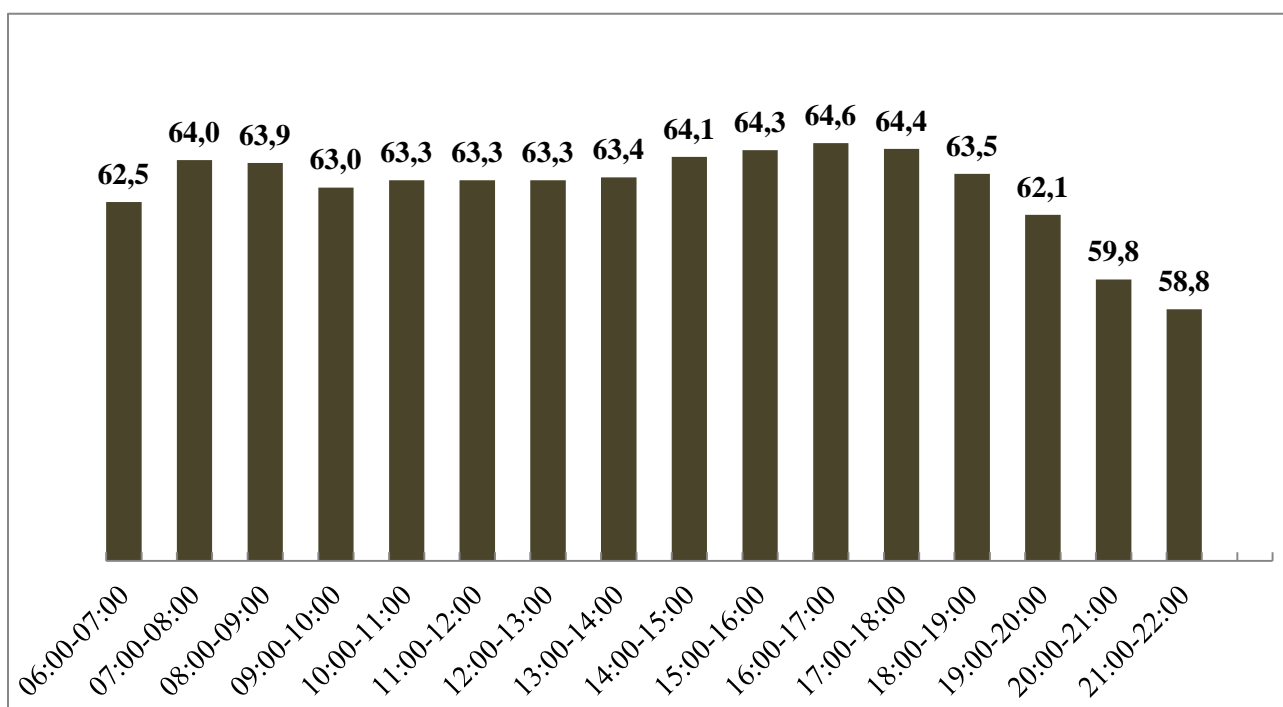


Graf 21: Porovnání vývoje hladin hluchnosti v jednotlivých časových intervalech (noc)

DENNÍ DOBA (06:00-22:00) - zvolen interval měření 1 hodina

	Time	PreLEQ	LEQ [dB]	LEQ_dt	MIN_dt	MAX_dt
06:00-07:00	1:00:00	0,0	62,5	-	49,7	79,6
07:00-08:00	2:00:00	62,5	64,0	+1,5	51,1	73,6
08:00-09:00	3:00:00	64,0	63,9	-0,1	51,0	77,6
09:00-10:00	4:00:00	63,9	63,0	-0,9	48,2	74,8
10:00-11:00	5:00:00	63,0	63,3	+0,3	51,0	78,0
11:00-12:00	6:00:00	63,3	63,3	0,0	51,4	85,8
12:00-13:00	7:00:00	63,3	63,3	0,0	52,5	77,7
13:00-14:00	8:00:00	63,3	63,4	0,0	50,0	75,1
14:00-15:00	9:00:00	63,4	64,1	+0,7	52,8	94,6
15:00-16:00	10:00:00	64,1	64,3	+0,2	53,0	78,2
16:00-17:00	11:30:00	64,3	64,6	+0,3	52,1	73,5
17:00-18:00	12:00:00	64,6	64,4	-0,2	54,4	78,4
18:00-19:00	13:00:00	64,4	63,5	-0,9	50,8	75,2
19:00-20:00	14:00:00	63,5	62,1	-2,4	48,7	70,6
20:00-21:00	15:00:00	62,1	59,8	-2,3	43,1	75,3
21:00-22:00	16:00:00	59,8	58,8	-1,1	40,5	76,5
06:00-22:00			62,7			

Tab. 37: Naměřené hodnoty hluku z dopravy



Graf 22: Porovnání vývoje hladin hluchnosti v jednotlivých časových intervalech (den)

e) Závěr

Důležitou součástí měření bylo stanovení nejistoty měření měřicího přístroje. Jelikož se jedná o integrující-průměrující zvukoměr, kdy samotné měřící zařízení AL1 Acoustilyzer je třídy II. dosáhneme dle Tab. 4 nejistoty měření 1,0 dB.

Výsledky tak lze prezentovat ve formě:

	L_{eq} [dB]
Denní doba (06:00-22:00)	$62,7 \pm 1,0$
Noční doba (22:00-06:00)	$54,2 \pm 1,0$

Tab. 38: Shrnutí naměřených výsledků měření

Při posuzování je nutné stanovení nejvyšší přípustné hladiny hluku v příslušné době. Ta vychází ze základní hladiny $L_{AZ} = 50$ dB a příslušných korekcí přihlížejících k místním podmínkám a denní době. Pro hluk ze silniční jsou stanoveny následovně:

- **Při použití korekcí pro starou hlukovou zátěž (hluk, který nastal před rokem 2000)**

$L_{eq,16h} = 70$ dB pro denní dobu (06:00-22:00)

$L_{eq,8h} = 60$ dB pro noční dobu (22:00-06:00)

- **Nepoužijeme-li korekci pro starou hlukovou zátěž**

$L_{eq,16h} = 60$ dB pro denní dobu (06:00-22:00)

$L_{eq,8h} = 50$ dB pro noční dobu (22:00-06:00)

Při porovnávání tak lze dojít k závěru, že pokud se použije korekce pro starou hlukovou zátěž, naměřené výsledky **prokazatelně vyhoví** z hlediska posouzení hygienických limitů hlučnosti.

Pokud se však nepoužije redukce pro starou hlukovou zátěž, dochází k **prokazatelnému překročení** hygienických limitů. Konkrétně v místě měření o 2,7 dB v denní době a o 4,2 dB v noční době.

Je třeba zmínit, že stávající zástavba sídliště Jižní Svahy spadá do kategorie staré hlukové zátěže, jelikož hluková situace nastala před rokem 2000 a tudíž zde nejsou překročeny hodnoty hluku pro den a noc. V rámci rekonstrukce obytných domů, byla v roce 2010 vyměněna stávající okna za nová, plastová a nutno říct, že došlo ke zlepšení hlukové situace ve vnitřních prostorech. Nicméně venkovní hluková situace je kolem této důležité spojnice sídliště s centrem nadále nezanedbatelná a je vhodné ji nadále monitorovat a hledat možnosti snižování dopravní hlučnosti.

7.3.2 Navržená protihluková opatření

Primárně je třeba snižovat hlučnost u zdroje a nikoli u příjemce, proto je třeba hledat možnosti snižování hlučnosti na této komunikaci použitím dopravně-organizačních nebo stavebně-technických protihlukových opatření. Jelikož urbanizace této oblasti je již hotová, nelze zde použít urbanisticko-architektonická a urbanisticko-dopravní protihluková opatření.

D-O protihluková opatření

- **Snížení rychlosti dopravy** - možnost snížení z 50 km/h na 40 km/h, vzhledem ke směrovému oblouku malého poloměru, ve kterém se komunikace nachází, není rychlost dopravního proudu hlavní problém - neefektivní řešení
- **Snížení dopravních intenzit** - vzhledem k tomu, že se jedná o takřka jedinou spojnicí sídliště s centrem města - nerealizovatelné

S-T protihluková opatření

- **Protihluková stěna** - velký zásah do vzhledu zastavěnosti území, velké finanční náklady, hluková situace v území není až tak kritická - nevhodné řešení
- **Protihlukový kryt vozovky** - varianta, která nejméně zasáhne do vzhledu oblasti, použitím krytu, např. BBTM5 či PA, dojde ke snížení hlučnosti až o 5 dB, čímž oblast vyhoví i z hlediska posouzení pokud nepoužijeme korekci pro starou hlukovou zátěž - nejvhodnější varianta

Ačkoliv okolí této důležité spojnice sídliště s centrem není zasaženo kritickými hodnotami Leq, z vlastní zkušenosti vím, že je mnohdy nelehké žít v této oblasti. Např. spát v horkých letních dnech při otevřených oknech je nemožné. Protihlukový kryt, by na této komunikaci určitě našel své uplatnění a pomohl by k celkovému zklidnění a zkvalitnění života v této oblasti.

8. ZÁVĚR

Dynamický rozvoj naší společnosti a s tím související rozvoj dopravy s sebou nese spoustu problémů a jedním z nich jsou neustále se zvyšující hlukové emise působící na obyvatelstvo. Proto by mělo být v rámci udržitelného rozvoje jedním z prioritních cílů tento problém neustále monitorovat a řešit. V poslední době bylo učiněno mnoho kroků pro snižování hlukové zátěže. Je však nutné se na tento problém dívat i z ekonomického hlediska a hledat nejschůdnější možná řešení. Je možné, že v současnosti nejpoužívanější protihluková opatření (protihlukové stěny, snižování rychlosti) se stanou záležitostmi minulosti a např. realizace protihlukového krytu se stane ve městech běžným prvkem.

V rámci mé diplomové práce bylo za úkol vyhodnotit, jaký vliv mají nové cementobetonové kryty dálnice D1 na tvorbu hlukových emisí. Tyto výsledky pak byly porovnávány se stávajícím CB krytem a nízkohlučným povrchem SMA8 LA na rychlostní silnici R46. Dalším úkolem bylo také zjištění závislosti hlučnosti na rychlosti při přejezdu vodorovného dopravního značení. Tyto výsledky byly porovnány s krytem, na kterém bylo VDZ realizováno. Dalším cílem bylo také stanovení akustického stavu asfaltového krytu PA16 v blízkosti obce Česká. V závěrečné části jsem monitoroval hlukovou situaci kolem rušné komunikace na sídlišti Jižní Svahy ve Zlíně a analyzoval možná protihluková opatření v této oblasti.

Při porovnávání hlučnosti všech měřených povrchů vykazoval nejnižší hlukové emise dle očekávání povrch SMA8 LA, kdy tento povrch při rychlosti 80 km/h emitoval do prostředí o 5,54 dB nižší emise než kryt SMA11. Co se týče nových cementobetonových povrchů, tak se potvrdily očekávání v podobě snížení hluku. Při porovnávání stávajícího CB krytu s novými vykazoval při 80 km/h povrch upravený vlečenou jutou o 6,18 dB nižší emise a povrch upravený kartáčováním (vymývaný beton) o 5,63 dB.

V druhém úkolu, při měření hlučnosti VDZ jsem stanovil, že při přejíždění VDZ vznikají při zvýšení rychlosti o 10 km/h vyšší hlukové emise o 12 dB až 13 dB. Nastává zde však otázka, jaké akustické vlastnosti bude VDZ vykazovat po pár letech používání, je tak nutné tuto akustickou vlastnosti profilovaného VDZ dále monitorovat.

Ve třetí části, jsem dle naměřených hodnot hlučnosti stanovil, že v současnosti už povrch PA16 neplní funkci protihlukového krytu a to proto, že po deseti letech používání a absence čištění jsou póry již ucpány a hluk se tak nepohlcuje, ale odráží.

Při vyhodnocení měření ve Zlíně, jsem došel k závěru, že vzhledem k naměřeným hodnotám není hluková situace až tak kritická. Pokud by se však nejednalo o starou hlukovou zátěž, komunikace by z pohledu limitů nevyhověla. Je tedy vhodné zde hledat možnosti jak hluk snižovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Mejzlík Martin. Vyhodnocení hlukových emisí protihlukových povrchů vozovek. Brno : Vysoké učení technické. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací, 2012. Sv. 54 s, Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
- [2] ČSN 01 1600. Akustika, názvy, definice.
- [3] Wayson Roger, Bernhard Robert. *An introduction to tire/pavement noise of asphalt pavement*
- [4] Encyklopedie fyziky. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/>
- [5] Hygienické limity hluku. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/>
- [6] Gottvaldová, Jana. Automobilový hluk. <http://www.silnice-zeleznice.cz/>. [Online] 26. srpen 2011. [cit. 2014-01-16]. <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/automobilovy-hluk/>>.
- [7] Křivánek Vítězslav. *Hluk z dopravy, snižování hlukové zátěže ze silniční dopravy*. [prezentace Powerpoint] Brno : Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013.
- [8] Kudrna Jan, Gottvaldová Jana, Dašek Ondřej, Horák Karel. Tiché kryty vozovek. [prezentace Powerpoint] Brno: Ústav pozemních komunikací, v.v.i., 2013
- [9] Gottvaldová Jana, Smutný Jaroslav, Pazdera Luboš. Hluk na styku pneumatika- vozovka. <http://www.silnice-zeleznice.cz/>. [Online] 18. leden 2012. [cit. 2014-01-16]. <<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/hluk-na-styku-pneumatika-vozovka/>>
- [10] Křivánek Vítězslav. *Problematika hlučnosti povrchů vozovek*. [prezentace Powerpoint] Brno : Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013.
- [11] Akční hlukový plán Zlínského kraje. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.brno.cz/>
- [12] Strategická hluková mapa Brna. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.brno.cz/>
- [13] Dašek Ondřej. Laboratorní vlastnosti dvouvrstvého asfaltového koberce drenážního. 2011. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2011/pdf/2.3/Dasek_Ondrej_CL.pdf
- [14] Liberko Miloš. Hluk v prostředí. Dostupné z: https://osha.europa.eu/fop/czech-republic/cs/publications/files/hluk_text.pdf
- [15] Přednáška betonové vozovky. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.svcement.cz/>
- [16] Křivánek Vítězslav. *Hluk z dopravy, Strategické hlukové mapy, hodnocení hluku*. [prezentace Powerpoint] Brno : Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., 2013.
- [17] Vít Michael. Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v pracovním prostředí a vibrací. Dostupné z: http://apps.szu.cz/cekz/dokumenty/autorizace/hluk_v_prac_prostredi_a_vibrace.pdf

- [18] Mapové podklady. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [19] Hýzl Petr a Adamec Vladimír. Snižování dopravního hluku pomocí hutněných asfaltových vrstev. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z:
http://www.fns.uniba.sk/fileadmin/user_upload/editors/actaenvi/ActaEnvi_2012_Suppl.1/07_S_Hyzl_Adamec.pdf
- [20] Smutný Jaroslav. *Železniční konstrukce II, Přednáška č.1.* [prezentace Powerpoint] Brno : Ústav železničních konstrukcí a staveb, v.v.i., 2013.
- [21] Sčítání dopravy. [online]. Dostupné z: <http://scitani2010.rsd.cz/>
- [22] Kudrna Jan. *Stavba, oprava a rekonstrukce cementobetonových vozovek.* [prezentace Powerpoint] Brno: Ústav pozemních komunikací, v.v.i., 2013.
- [23] Drenážní koberec PA8. [online]. [cit. 2014-01-17]. Dostupné z:
http://www.stavebnivyrobekroku.cz/db_binary_file/plans/1470.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Zdroje automobilového hluku [7]*
- Obr. 2: Znázornění jevu adheze - přilnavosti [3]*
- Obr. 3: Znázornění nárazu dezénového bloku [3]*
- Obr. 4: Znázornění sání vzduchu [3]*
- Obr. 5: Znázornění tření [3]*
- Obr. 6: Schematické znázornění rezonátoru [3]*
- Obr. 7: Schematické znázornění rezonátoru [3]*
- Obr. 8: Znázornění vibrace kostry pneumatiky [3]*
- Obr. 9: Znázornění vnitřní akustické vibrace [3]*
- Obr. 10: Ukázka různých protihlukových stěn typu LIADUR [8]*
- Obr. 11: Protihlukové stěny z pryže, hliníku a dřeva [8]*
- Obr. 12: Ukázka strategické hlukové mapy - Brno, denní doba (6:00-22:00) - tzv. „hot spots“ by v tomto případě byly místa, označené červenou barvou [12]*
- Obr. 13: Typická struktura jednovrstvého porézního asfaltového krytu [3]*
- Obr. 14: Typická struktura dvouvrstvého porézního asfaltového krytu [3]*
- Obr. 15: Porovnání mastixových koberců; vlevo nová směs SMA8 LA, uprostřed tatáž po 2 letech používání a vpravo běžná SMA8 S po dvou letech používání [20]*
- Obr. 16: Ukázka odvodnění gumoasfaltového koberce drenážního (PA 8 CRmB) [1]*
- Obr. 17: Kartáčování cementobetonových krytů [16]*
- Obr. 18: Vytváření podélné textury pomocí technologie vlečené juty [23]*
- Obr. 19: Schéma nastavení SPB metody měření hluku [3]*
- Obr. 20: Příklad vhodně zvoleného místa pro měření metodou SPB [3]*
- Obr. 21: Měřicí zařízení na přívěsu za vozidlem [6]*
- Obr. 22: Měřicí zařízení na přívěsu za vozidlem (bez krytu) [17]*
- Obr. 23: Zavěšený mikrofon při metodě CPI [3]*
- Obr. 24: Laboratorní měření hluku na styku pneumatiky s vozovkou [3]*
- Obr. 25: Příklad umístění mikrofonu pro posuzování hygienických limitů hluku [17]*
- Obr. 26: Fotodokumentace nastavení měřícího aparátu*
- Obr. 27: Fotodokumentace A/D převodníku s programem SpectraPLUS*
- Obr. 28: Pracovní prostředí programu SpectraPLUS (vlevo spektrální analýza)*
- Obr. 29: Znázornění měřeného úseku [19]*
- Obr. 30: Podélný profil měřeného úseku [19]*

- Obr. 31: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (pracovní spára vlečená juta / SMA11)*
- Obr. 32: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (vymývaný beton METROSTAV)*
- Obr. 33: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (nehomogenity vymývaného betonu)*
- Obr. 34: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (pracovní spára etapizace výstavby)*
- Obr. 35: Fotodokumentace měřeného úseku dálnice D1 (negativní textura stávajícího CB krytu)*
- Obr. 36: Detail na dezén referenční pneumatiky*
- Obr. 37: Znázornění měřeného úseku [19]*
- Obr. 38: Schéma nastavení měřicí metody SPB [1]*
- Obr. 39: Fotodokumentace rychlostní silnice R43 (pracovní spára SMA16 / PA16)*
- Obr. 40: Fotodokumentace rychlostní silnice R43 (detail ucpání pórů PA16)*
- Obr. 41: Znázornění zájmového místa na mapě města Zlín [19]*
- Obr. 42: Přesná lokace měřicího místa v zájmové oblasti [19]*
- Obr. 43: Podélný profil posuzované komunikace*
- Obr. 44: Fotodokumentace měřicího místa*
- Obr. 45: Měřicí zařízení AL1 Acoustilyzer a měřicí mikrofón MiniSPL*
- Obr. 46: Pracovní prostředí programu MiniLINK*

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Příklady intenzit hlučnosti ve společnosti [4]

Tab. 2: Hygienické limity pro venkovní hluk [5]

Tab. 3: Hygienické limity pro vnitřní hluk [5]

Tab. 4: Nejistota u_i daná měřicími přístroji, pokud se měří po celou dobu expozice [17]

Tab. 5: Nejistota u_i daná měřicími přístroji, pokud se neměří po celou dobu expozice [17]

Tab. 6: Dopravní intenzity dle sčítání z roku 2010 [21]

Tab. 7 a 8: Vyhodnocení hlukových emisí vymývaného betonu dvou dodavatelů

Tab. 9 a 10: Vyhodnocení hlukových emisí vlečené juty a porovnání dvou technologií

Tab. 11, 12, a 13: Vyhodnocení hlukových emisí, vlevo a uprostřed dálnice D1, vpravo R46

Tab. 14: Číselné porovnání hladin hlučnosti L_{eq} při referenční rychlosti 80 km/h

Tab. 15: Číselné porovnání hladin hlučnosti L_{eq} při referenční rychlosti 100 km/h

Tab. 16: Číselné porovnání hladin hlučnosti L_{eq} při referenční rychlosti 120 km/h

Tab. 17: Porovnání hlučností mastixových krytů v zájmové oblasti 1000 Hz

Tab. 18: Porovnání hlučností cementobetonových v zájmové oblasti 1000 Hz

Tab. 19, 20 a 21: Porovnání hlučností vymývaného betonu a hlučnosti VDZ

Tab. 22: Dopravní intenzity dle sčítání z roku 2010 [21]

Tab. 23: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 8:55-9:10

Tab. 24: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:10-9:25

Tab. 25: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:25-9:40

Tab. 26: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:40-9:55

Tab. 27: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 9:55-10:05

Tab. 28: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 10:10-10:25

Tab. 29: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 10:25-10:40

Tab. 30: Vyhodnocení hlučnosti a intenzity dopravy v intervalu 10:40-10:55

Tab. 31: Celkové vyhodnocení hodinového intervalu 8:55-9:55

Tab. 32: Celkové vyhodnocení hodinového intervalu 9:55-10:55

Tab. 33: Celkové vyhodnocení dvouhodinového měření

Tab. 34: Vzájemné porovnání hlučností měřených povrchů

Tab. 35: Dopravní intenzity dle sčítání z roku 2010 [21]

Tab. 36: Naměřené hodnoty hluku z dopravy

Tab. 37: Naměřené hodnoty hluku z dopravy

Tab. 38: Shrnutí naměřených výsledků měření

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Příspěvky jednotlivých dílčích zdrojů hluku [7]

Graf 2: Závislost intenzity dopravy na produkci hluku [7]

Graf 3: Závislost rychlosti dopravy na produkci hluku [7]

Graf 4: Srovnání ekvivalentních hladin hlučnosti různých povrchů při referenčních rychlostech

Graf 5: Průběh L_{eq} při přejezdu pracovní spáry, $v=80$ km/h (SMA11 / SMA8LA / SMA11)

Graf 6: Průběh L_{eq} při přejezdu pracovní spáry, $v=120$ km/h (Vymývaný beton / Stávající CB)

Graf 7: Porovnání průměrných 1/3 oktávových spekter, referenční rychlost 80 km/h

Graf 8: Porovnání průměrných 1/3 oktávových spekter, referenční rychlost 120 km/h

Graf 9: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (50 km/h)

Graf 10: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (60 km/h)

Graf 11: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (70 km/h)

Graf 12: Průběh L_{eq} v závislosti na staničení při přejíždění VDZ (90 km/h)

Graf 13: Srovnání ekvivalentních hladin hlučnosti VDZ a betonu při referenčních rychlostech

Graf 14: Porovnání průměrných 1/3 oktávových spekter VDZ a betonu, referenční rychlost 50 km/h

Graf 15: Histogram intenzit dopravy - osobní automobily

Graf 16: Histogram intenzit dopravy - nákladní automobily

Graf 17: Histogram intenzit dopravy - celkově

Graf 18: Porovnání vývoje intenzit dopravy v patnácti minutových intervalech

Graf 19: Porovnání vývoje celkové hlučnosti dopravy v patnácti minutových intervalech

Graf 20: Porovnání hladin hlučnosti dopravy v patnácti minutových intervalech

Graf 21: Porovnání vývoje hladin hlučnosti v jednotlivých časových intervalech (noc)

Graf 22: Porovnání vývoje hladin hlučnosti v jednotlivých časových intervalech (den)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Leq	- ekvivalentní hladina akustického tlaku
SPL	- sound pressure level
dB	- decibel
Hz	- Hertz
SHM	- strategická hluková mapa
AP	- akční plán
ACO	- asfaltový beton pro ohrusné vrstvy
SMA	- asfaltový koberec mastixový
PA	- asfaltový koberec drenážní
BBTM	- asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy
CRmB	- gumoasfaltové pojivo
CBK	- cementobetonový kryt